



SABRINA THEREZA DOS SANTOS TORQUETI

**EFEITO DE ZEÓLITA E FONTES
ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO E FÓSFORO
NO CULTIVO DE GIRASSOL ORNAMENTAL
(*Helianthus annuus* L.)**

LAVRAS – MG

2015

SABRINA THEREZA DOS SANTOS TORQUETI

**EFEITO DE ZEÓLITA E FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO
E FÓSFORO NO CULTIVO DE GIRASSOL ORNAMENTAL
(*Helianthus annuus L.*)**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do
programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, área de concentração
em Recursos Ambientais e Uso da
Terra, para obtenção do título de
Mestre.

Orientador
Dr. José Maria de Lima

LAVRAS – MG

2015

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Torqueti, Sabrina Thereza dos Santos.

Efeito de zeólita e fontes alternativas de potássio e fósforo no cultivo de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L.) / Sabrina Thereza dos Santos Torqueti. – Lavras : UFLA, 2015.

64 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador(a): José Maria de Lima.

Bibliografia.

1. Vinhaça. 2. Fosfato Reativo de Bayóvar. 3. Fertilidade do solo. 4. Lixiviação. 5. Condicionamento do solo. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

SABRINA THEREZA DOS SANTOS TORQUETI

**EFEITO DE ZEÓLITA E FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO
E FÓSFORO NO CULTIVO DE GIRASSOL ORNAMENTAL**

(Helianthus annuus L.)

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do
programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, área de concentração
em Recursos Ambientais e Uso da
Terra, para obtenção do título de
Mestre.

APROVADA em 28 de julho de 2015.

Dr. Geraldo César de Oliveira
Dr. Bruno Teixeira Ribeiro

DCS/UFLA
UFU

Dr. José Maria de Lima
Orientador

LAVRAS – MG

2015

Aos meus pais que sempre estiveram ao meu lado me apoiando em todas as minhas decisões, com muito amor e carinho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus, por iluminar meu caminho e me dar forças para seguir sempre em frente, mesmo com os obstáculos.

Ao meu pai Ricardo e à minha mãe Izabel, por tudo o que me ensinaram, pelo amor incondicional e por serem meus maiores incentivadores, em todos os aspectos da minha vida.

Ao meu namorado Ermando, por tudo o que significa em minha vida, pelo amor, carinho e incentivo.

Aos meus familiares, pelo carinho e atenção.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade de realização do Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo suporte financeiro que possibilitou a realização desta pesquisa.

Ao professor Dr. José Maria de Lima, pela orientação, oportunidade de realizar este trabalho, incentivo e confiança.

Aos professores e funcionários do DCS/UFLA, pelo auxílio e conhecimentos transmitidos.

Aos estudantes de iniciação científica do laboratório de Avaliações Agronômicas e Ambientais, principalmente ao Gustavo, André e Barbara pela participação indispensável na condução do experimento e pelo agradável convívio.

À laboratorista Bethânia, à pós doc. Gabriela e ao Alisson pela ajuda, apoio, amizade, companheirismo e paciência.

Às minhas amigas Samara e Sara, pelo apoio nos momentos difíceis e por fazerem dos meus dias, dias mais leves e alegres. A todos que estiveram presentes de forma direta ou indireta, agradeço enormemente.

RESUMO

O potássio e o fósforo são elementos essenciais às plantas. A utilização de fontes alternativas desses nutrientes associadas aos condicionadores de solos é muito importante para a agricultura, por melhorar a qualidade do solo favorecendo o cultivo de plantas e ainda diminuir a dependência do país pela importação de fontes desses nutrientes. Objetivou-se avaliar o efeito de vinhaça e fosfato reativo de Bayóvar como fontes alternativas de potássio e fósforo, respectivamente, e zeólita, em duas granulometrias, no condicionamento de solo para cultivo das plantas de girassol ornamental. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com arranjo fatorial 4 x 3, ou seja, quatro fontes de potássio e fósforo (cloreto de potássio e fosfato de amônio, vinhaça e fosfato de amônio, cloreto de potássio e fosfato de reativo de Bayóvar e vinhaça e fosfato reativo de Bayóvar) e três condições de zeólita (sem zeólita, zeólita fina e zeólita grossa), com quatro repetições, sendo uma planta por parcela. Avaliou-se o número de folhas, altura e diâmetro das hastes, diâmetro interno da inflorescência, além da massa seca das folhas, hastes, inflorescência e total. Após o corte das plantas foram realizadas três aplicações de lamina d'água equivalentes a 15, 20 e 50 mm, em intervalos de cinco dias. O lixiviado foi coletado ao final da terceira aplicação, sendo medido o seu volume e a concentração de íons. Após o ensaio de lixiviação foram retiradas amostras de solo para avaliação da fertilidade. Em geral, a zeólita promoveu melhorias na fertilidade do solo, sem interação com as fontes cloreto de potássio e fosfato de amônio e vinhaça e fosfato de amônio. Na ausência da zeólita e da vinhaça, o fosfato reativo de Bayóvar apresentou-se como uma boa fonte de fósforo. A vinhaça apresentou comportamento semelhante ao cloreto de potássio, mostrando seu potencial como fonte de potássio. No ensaio de lixiviação, a zeólita fina promoveu uma eficiente retenção dos cátions K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , evitando, desta forma, as suas perdas por lixiviação. Também houve menos lixiviação de K^+ nos tratamentos com a vinhaça.

Palavras-chave: Vinhaça. Fosfato de Bayóvar. Fertilidade do solo. Lixiviação. Condicionamento do solo.

ABSTRACT

Zeolite effect and alternative sources of potassium and phosphorus in ornamental sunflower cultivation

Potassium and phosphorus are essential to plants. The use of alternative sources of these nutrients, associated with soil conditioners, is very important for agriculture as they improve soil quality favoring the cultivation and reducing dependence on imported sources of these nutrients. The aim of this work was to evaluate the effect of vinasse and Bayóvar rock phosphate as alternative sources of potassium and phosphorus, respectively, and coarsely- and finely-grinded zeolite, as soil conditioner for cultivating ornamental sunflower. The experiment followed a completely randomized 4x3 factorial design, with four potassium and phosphorus sources (potassium chloride and ammonium phosphate, vinasse and ammonium phosphate, potassium chloride and Bayovar rock phosphate, and vinasse and Bayovar rock phosphate) and three zeolite conditions (without zeolite, with finely-grinded zeolite and with coarsely-grinded zeolite) with one plant per pot and four replicates per treatment. The number of leaves, height and diameter of stems, internal diameter of inflorescence, and dry matter of leaves, stems, inflorescence and total were evaluated. After plant harvesting, water was applied at 15, 20 and 50 mm every five days. The leachate was collected after the third water application, and its volume and ion concentration were measured. After leaching test, soil fertility was evaluated from each pot. In general, soil fertility was improved in the presence of zeolite, not interact with potassium chloride and ammonium phosphate, and ammonium phosphate and vinasse. When neither zeolite nor vinasse were applied, Bayovar rock phosphate showed a better performance as P source. Vinasse treatments did not differ from potassium chloride ones, which indicates its potential as K⁺ source. Finely-grinded zeolite promoted efficient retention of K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺, which prevented these nutrients from leaching. Moreover, in vinasse treatments there were less leaching of K⁺.

Keywords: Vinasse. Bayovar rock phosphate. Soil fertility. Leaching. Soil conditioning.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Representação bi e tridimensional da estrutura da zeólita.....15
- Figura 2 Vasos confeccionados para constituição da parcela experimental 27
- Figura 3 Análise de componentes principais do pH, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , P, P-rem, S, Al^{3+} , V, t, T e MO do solo cultivado com girassol ornamental sob diferentes fontes de K e P e condições de zeólita 33
- Figura 4 Número de folhas, altura e diâmetro das hastes e diâmetro interno das inflorescências das plantas de girassol ornamental aos 49 DAS; desdobramento do fator Zeólita dentro do fator Fonte K e P38
- Figura 5 Número de folhas, altura e diâmetro das hastes e diâmetro interno das inflorescências das plantas de girassol ornamental aos 49 DAS; desdobramento do fator Fonte K e P dentro do fator Zeólita39
- Figura 6 Plantas de girassol ornamental aos 49 DAS41
- Figura 7 Massa seca das folhas, hastes, inflorescências e total de plantas de girassol ornamental aos 49 DAS43
- Figura 8 Análise de componentes principais das quantidades totais de K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-} lixiviadas após ensaio de aplicação de água em solo cultivado com girassol ornamental sob diferentes fontes de K e P e condições de zeólita.....47
- Figura 9 Quantidades totais de K^+ lixiviadas após ensaio de aplicação de água em solo cultivado com girassol ornamental sob diferentes fontes de K e P e condições de zeólita49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Resultados analíticos das análises química e física do solo	25
Tabela 2 Características químicas do fosfato reativo de Bayóvar	25
Tabela 3 Características químicas e físicas das zeólitas	26
Tabela 4 Características químicas da vinhaça	28
Tabela 5 Médias do pH, teores de K^+ , P, S, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , t, T, V, M.O e P rem nos solos cultivados com girassol ornamental sob diferentes fontes de K e P e condições de zeólita	36
Tabela 6 Resumo da ANOVA para número de folhas, altura das hastes, diâmetro das hastes e diâmetro interno das inflorescências de plantas de girassol ornamental aos 49 DAS cultivadas sob diferentes fontes de K e P e condições de zeólita.....	37
Tabela 7 Resumo da ANOVA para massa seca das folhas, hastes, inflorescências e total de plantas de girassol ornamental aos 49 DAS cultivadas sob diferentes fontes de K e P e condições de zeólita	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 A Cultura do Girassol	13
2.2 Zeólita	14
2.2.1 Zeólita e a lixiviação do potássio	18
2.2.2 Zeólita na disponibilização de fósforo da rocha fosfática	19
2.3 Vinhaça	21
2.4 Fosfato reativo de Bayóvar	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Localização	24
3.2 Implantação e condução do experimento	24
3.3 Delineamento experimental	29
3.4 Avaliações	29
3.5 Análises estatísticas	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 Fertilidade do solo	32
4.2 Avaliações biométricas	37
4.3 Massa seca	42
4.3.1 Folhas	42
4.3.2 Hastes	44
4.3.3 Inflorescências	44
4.3.4 Total	45
4.4 Lixiviação	47
5 CONCLUSÕES	52
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

O potássio (K) e o fósforo (P) são elementos essenciais às plantas. São exigidos em grandes quantidades e responsáveis por vários processos metabólicos que ocorrem nas mesmas. O K é responsável por incrementar a translocação de carboidratos nas plantas e aprimorar a utilização de água pelas mesmas (MALAVOLTA, 2006). E o P está presente em processos como transferência de energia, síntese de ácidos nucleicos, fotossíntese, glicólise, respiração, síntese e estabilidade de membrana, ativação e desativação de enzimas, reações redox, metabolismo de carboidratos e fixação de N₂ (VANCE; UHDE-STONE; ALLAN, 2003).

No entanto, nos solos podem ocorrer a lixiviação do K e a fixação do P, que reduzem a disponibilidade desses nutrientes (RAIJ, 1991), prejudicando o crescimento e desenvolvimento das plantas. Além disso, a grande dependência brasileira da importação de fertilizantes, especialmente de K e P, são fatos que sugerem a adoção de medidas que aumentem a eficiência de uso das fontes desses nutrientes.

Entre as fontes alternativas de potássio, por exemplo, encontra-se a vinhaça, um subproduto da indústria de álcool e cachaça que pode ser usado na adubação, como fonte de K, devido ao alto teor desse nutriente em sua composição. Isso reduz a quantidade de fontes minerais como cloreto, sulfato e nitrato de K. No entanto, a aplicação de vinhaça ao solo, ao longo dos anos gera um possível risco de salinização (MADEJON et al., 2001), tendo em vista os altos teores de elementos como cálcio, magnésio, além do potássio e, sobremaneira, de matéria orgânica (SILVA et al., 2014; SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007).

No caso do fósforo, os superfosfatos e fosfatos de amônio são as fontes mais utilizadas no Brasil, pois, em razão da maior solubilidade, aumentam rapidamente a concentração desse nutriente na solução do solo. Entretanto, essas fontes são caras e mais suscetíveis às reações de fixação no solo, quando comparadas aos fosfatos naturais reativos, que são menos

solúveis (SOUSA; REIN; LOBATO, 2008). Dessa forma, a utilização desses fosfatos naturais, como exemplo, o fosfato reativo de Bayóvar, pode ser mais eficiente em longo prazo, pelo menor custo e liberação mais lenta, que reduz significativamente o processo de fixação por liberar gradativamente o fósforo, dando à planta melhor condição de absorção.

Os condicionadores de solo têm sido objeto de estudo em trabalhos que visam melhorias químicas e físico-hídricas dos solos, pois aumentam a eficiência de uso dos nutrientes e melhora as condições de cultivo das plantas.

Dentre os condicionadores naturais, têm-se as zeólitas, que podem promover aumento na retenção de nutrientes, gerando melhorias na qualidade do solo (MUMPTON, 1999). Devido às propriedades de alta capacidade de troca de cátions (CTC) e adsorção de íons, a utilização desse mineral na agricultura torna-se fundamental (MING; MUMPTON, 1989; VAUGHAN, 1978), pois possibilita o aumento da eficiência de utilização de insumos, seja no campo ou em cultivo com substrato. Esse condicionador melhora o aproveitamento do nitrogênio (N) nas formas minerais, reduz as perdas de cátions trocáveis por lixiviação, especialmente o K^+ , e aumenta a disponibilidade de P da rocha fosfática (ALLEN et al., 1995; GÜL; EROGUL; ONGUN, 2005; HARLAND; LANE; PRICE, 1999).

Diante desse contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito das fontes alternativas de potássio e fósforo e da zeólita, em duas granulometrias, no condicionamento de solo no cultivo das plantas de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L. cultivar Pollenless Sunbrigh Supreme).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Cultura do Girassol

O girassol é uma dicotiledônea anual, pertencente à ordem *Asterales* e família *Asteraceae* (JOLY, 1993). O gênero *Helianthus* compreende 49 espécies e 19 subespécies, sendo 12 espécies anuais e 37 perenes, todas nativas das Américas (NEVES, 2008). A palavra girassol (*Helianthus annuus* L.) é de origem grega: *helios*, que significa sol, e *anthus*, que significa flor, ou seja, "flor do sol" (SEILER, 1997). A inflorescência gira seguindo o sol num movimento conhecido como heliotropismo (CAVASIN JUNIOR, 2001) que ocorre devido ao acúmulo de auxinas, hormônio de regulação de crescimento, na parte da planta oposta ao sol (VRÂNCEANU, 1977).

A espécie é originária do México, porém, ela adapta-se a diferentes condições ambientais (CASTRO; FARIAS, 2005), podendo ser cultivada em todos os continentes, devido a sua ampla adaptabilidade climática, alta tolerância à seca, ao frio e ao calor, tornando-se pouco influenciada pela latitude, altitude e pelo fotoperíodo (ZOBIOLE et al., 2010).

O sistema radicular do girassol é pivotante, crescendo mais rapidamente que a parte aérea da planta no início do desenvolvimento, formado por um eixo principal e raízes secundárias abundantes, capazes de explorar um grande volume de solo. É uma planta de haste única, ereta, pubescente, cilíndrica e com interior maciço (ROSSI, 1998).

O girassol tem inflorescência do tipo capítulo, composto por flores geralmente sésses que se formam no ápice da haste. A inflorescência possui alongamento discoide, constituindo um receptáculo onde há a inserção das flores. O receptáculo apresenta brácteas pilosas e ásperas e o diâmetro dos capítulos podem variar conforme a espécie, clima e solo (LENTZ et al., 2001). As flores inseridas no receptáculo são de dois tipos: tubulosas (flores férteis) e liguladas (flores inférteis). As tubulosas são as flores propriamente

ditas, sendo hermafroditas. São compostas de cálice, corola, androceu e gineceu e ocupam toda a superfície do receptáculo. Uma vez fecundadas, originam as sementes e os frutos. Já as flores liguladas são incompletas, com um ovário, cálice rudimentar e uma corola transformada, parecida com uma pétala (ROSSI, 1998). Porém, nas novas variedades de girassol ornamental, os dois tipos de flores são estéreis, devido ao fato da produção de pólen ser indesejável para confecção de arranjos florais (NEVES, 2003).

O girassol ornamental é originário da hibridação do girassol granífero. Sua utilização tem sido ampliada para fins ornamentais com a diversificação da coloração (PELEGRINI, 1985). Tem grande potencial como flor de corte, pela inflorescência atrativa e por apresentar ciclo curto e fácil propagação, permitindo ao produtor retorno rápido do seu investimento (ANEFALOS; GUILHOTO, 2003).

A cultura do girassol apresenta-se como uma alternativa muito viável para o mercado das flores, por não apresentar dificuldades de manejo, além de ser apreciado pela sua beleza, harmonizando bem com outras espécies e folhagens e daí a sua evidente procura no mercado de arranjos florais podendo compor diversos tipos de ornamentações (NEVES et al., 2009).

2.2 Zeólita

O termo zeólita, de origem grega (zein = ferver + lithos = pedra), ou seja, “pedras que fervem”, foi utilizado pela primeira vez em 1756, pelo mineralogista sueco Axel Fredrik Cronstedt, para mencionar certos minerais naturais, que liberam bolhas ao serem imersos em água, devido a sua grande quantidade de poros (CLARKE, 1980; LUZ, 1995).

Zeólitas são minerais aluminossilicatos, hidratados, estruturados em redes cristalinas tridimensionais rígidas, compostas por tetraedros do tipo TO_4 , na qual T = silício (Si), alumínio (Al), boro (B), ferro (Fe), fósforo (P), germânio (Ge) e cobalto (Co), ligados entre si pelos átomos de oxigênio (O), formando as unidades primárias, e também pelos cátions intersticiais como

sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), bário (Ba^{2+}) e estrôncio (Sr^{2+}). Nas zeólitas mais comuns, o T é geralmente representado por Si e Al. Devido à valência do Si, O e Al, o tetraedro SiO_4 é neutro enquanto o tetraedro isomorficamente substituído por Al, AlO_4 , possui uma carga negativa. A essa carga negativa ligam-se cátions de metais alcalinos (Li^+ , Na^+ , K^+ , H^+) e metais alcalinos terrosos (Ca^{2+} e Mg^{2+}) (Figura 1). Estando fora da rede cristalina, esses cátions podem ser trocados por outros cátions em solução, o que confere à zeólita a propriedade de elevada troca iônica (BARBOSA et al., 2014; LUNA; SCHUCHARDT, 2001; LUZ, 1995).

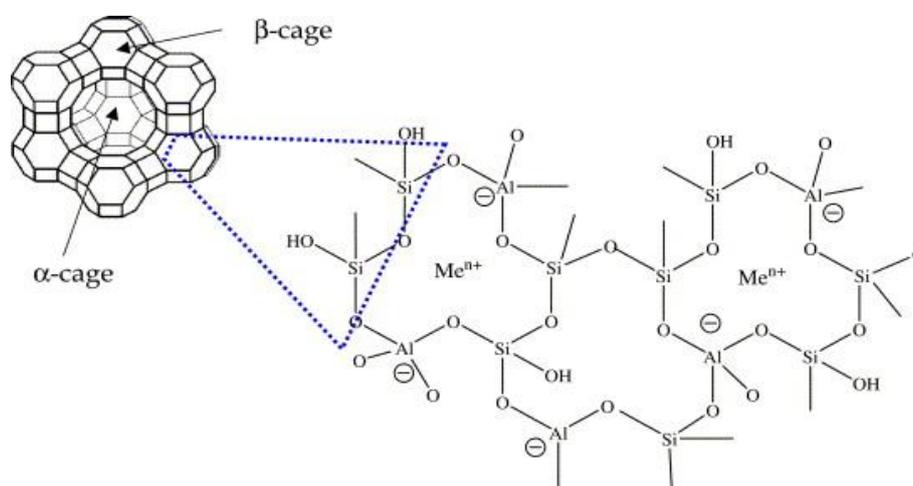


Figura 1 Representação bi e tridimensional da estrutura da zeólita

Fonte: (VALDÉS; PEREZ-CORDOVES; DIAZ-GARCIA, 2006)

Ao se unirem, as estruturas primárias tetraédricas formam um sistema de canais, cavidades e poros com diferentes dimensões (BERNARDI et al., 2009). Essas cavidades permitem a transferência de massa entre o meio externo, a solução do solo, e as superfícies internas do cristal, e geralmente são ocupadas por água e cátions. Porém, essa transferência é limitada pelo volume e diâmetro dos poros da estrutura zeolítica. Essa é a característica que define a capacidade das zeólitas reterem moléculas por adsorção, sendo denominadas, em muitos casos, como peneira molecular

(AGUIAR; NOVAES; GUARINO, 2002). A natureza, pH, composição química e temperatura do meio, além das características dos cátions trocáveis também influenciam na capacidade de adsorção desse material (CORREIA et al., 2010).

Os ambientes geológicos onde as zeólitas naturais podem ser encontradas são diversos, dependendo da idade, litologia e condicionamentos genéticos (RESENDE; MONTE; PAIVA, 2008). São formadas numa variedade de depósitos geológicos e a partir de precursores, tais como cinza vulcânica, argila, sílica biogênica e diferentes formas de quartzo (VAUGHAN, 1978), podendo ser formadas também a partir da alteração de vidros vulcânicos ou precipitação de fluidos, como em ocorrências hidrotermais (LUZ, 1995).

São encontradas preenchendo amígdalas e fendas de rochas ígneas e como constituintes de rochas metamórficas de baixo grau e sedimentares (HAY; SHEPPARD, 2001). Segundo Barrer (1982) e Rezende e Angélica (1997) as ocorrências sedimentares e/ou vulcano-sedimentares correspondem a depósitos que despertam maior interesse tecnológico e, usualmente, consistem de cimentos formados de cristais de zeólitas de dimensões muito pequenas.

No Brasil, as principais ocorrências de zeólitas em rochas sedimentares estão localizadas na Bacia do rio Parnaíba (MA, TO), do rio Paraná (SP, MS e MG) e do rio Potiguar (RN), sendo o mais importante registro do mineral zeolítico compreendido pela Bacia do rio Parnaíba, a qual abrange uma área de mais de 1000 km² (RESENDE; MONTE; PAIVA, 2008).

As principais vantagens das zeólitas são o seu baixo custo de extração, a sua disponibilidade em grandes volumes e a sua excelente estabilidade em processos químicos e térmicos. Elas também podem ser submetidas a diversos tratamentos, de modo a dar-lhes propriedades físicas e químicas desejadas (VALDÉS; PEREZ-CORDOVES; DIAZ-GARCIA, 2006).

Em função das propriedades químicas e físicas, as zeólitas apresentam um vasto campo de aplicação, por exemplo: construção civil, descontaminação de micotoxinas em alimentos, filtro para indústria, tratamento de água, descontaminação de metais pesados, formulação de herbicidas, inseticidas e fungicidas, preservação de frutas, grãos e sementes, condicionador de solos agrícolas, agente solubilizador de apatitas para a adubação, produção de adubos organominerais, produção de fertilizantes de liberação lenta e substrato artificial para cultivo de plantas (LUZ, 1995; MUMPTON, 1999; REZENDE; ANGÉLICA, 1997).

Segundo Ming e Dixon (1987), dentre as espécies de zeólitas naturais, a clinoptilolita é, aparentemente, a mais representativa, tanto nos sedimentos como nos solos.

Algumas propriedades apresentadas por esse mineral são fundamentais para a sua utilização na agricultura, entre elas a alta capacidade de troca de cátions (CTC), alta capacidade de retenção de água livre nos canais, elevada superfície específica e capacidade de adsorção (MING; MUMPTON, 1989; VAUGHAN, 1978). Essas propriedades possibilitam o aumento da eficiência de utilização de insumos, quando associados a esses minerais, seja no campo ou em cultivo com substratos agrícolas (HARLAND; LANE; PRICE, 1999), por meio do melhor aproveitamento do nitrogênio nas formas de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-), redução das perdas por lixiviação dos cátions trocáveis, em especial o K^+ e do aumento da disponibilidade de P da rocha fosfática (ALLEN et al., 1995; BARBARICK; LAI; EBERL, 1990; GÜL; EROGUL; ONGUN, 2005; HARLAND; LANE; PRICE, 1999).

Notario-Del-Pino et al. (1994) confirmaram o aumento dos teores de K e P em plantas de alfafa devido o fornecimento desses nutrientes na forma de fosfato de potássio (K_2HPO_4), por meio da zeólita (phillipsita). Bernardi et al. (2008) observaram resposta quadrática nos teores de nitrogênio (N) e linear nos teores de K e P em folhas do porta-enxerto limoeiro “cravo”, com o aumento nas doses de zeólita. Aumento na absorção de P em plantas de

girassol cultivadas em substrato adicionado de zeólita em mistura com rocha fosfática foi observado por Pickering, Menzies e Hunter (2002). Segundo Malavolta (2006) o teor de nutrientes nos tecidos vegetais reflete sua disponibilidade no substrato de cultivo.

As zeólitas naturais apresentam uma reconhecida importância econômica, porém, apenas recentemente despertou-se no Brasil a necessidade de uma avaliação potencial dos depósitos passíveis de exploração. O país ainda não tem tradição na área de comercialização desses minerais de diversificada aplicação industrial. O mercado interno é abastecido, na sua totalidade, por produtos zeolíticos importados. Atualmente o Brasil usa zeólitas importadas de Cuba (clinoptilolita), pois são puras, o que não ocorre nos basaltos e diabásios da bacia do Paraná que são muitas vezes portadores de vários tipos de zeólita (analcima, chabazita, thomsonita, clinoptilolita, natrolita, scolecita, mesolita, laumontita, stilbita, stellerita e heulandita) (LUZ, 1995).

Ainda há muito que se pesquisar sobre o potencial desse mineral no país, tanto sob o ponto de vista geológico, como de processamento e aplicação (RESENDE, 2002).

2.2.1 Zeólita e a lixiviação do potássio

O potássio é um dos 17 elementos essenciais às plantas. Esse macronutriente é responsável por incrementar a translocação de carboidratos nas plantas e aprimorar a utilização de água pelas mesmas (MALAVOLTA, 2006).

Trata-se de um elemento que está entre os dez mais abundantes da crosta terrestre (SKINNER, 1996). Porém, o intenso processo de intemperismo químico em regiões de clima tropical resultou em lixiviação e reduziu a capacidade natural dos solos em suprir esse nutriente para a solução do solo e para as plantas (BOHN; MCNEAL; O'CONNER, 2001).

Quando presente na solução do solo, o potássio, que é um íon muito móvel, movimenta-se verticalmente, principalmente pela água de drenagem (DUARTE; PEREIRA; KORNDORFER, 2013). Devido a esse movimento vertical, esse elemento pode ser transportado para profundidades, além daquelas alcançadas pelas raízes e ser removido do solo por lixiviação (OLIVEIRA; VILLAS BOAS, 2008). Um dos motivos da fácil lixiviação desse elemento é o fato de apresentar apenas uma carga de valência (K^+), sendo assim, menos adsorvido nos colóides do solo (ERNANI et al., 2007). Portanto, a lixiviação é maior em solos com maior permeabilidade e com menor CTC (RAIJ, 1991).

Sendo uma das propriedades das zeólitas, a capacidade de retenção de cátions trocáveis, quando adicionadas aos fertilizantes pode aumentar a retenção de nutrientes, principalmente na zona radicular, e ainda melhorar a qualidade do solo por meio do incremento dessa capacidade de retenção, melhorando a eficiência do uso desses fertilizantes, devido à redução das perdas por lixiviação, especialmente de potássio (MUMPTON, 1999).

Williams e Nelson (1997) observaram no cultivo de crisântemo, que quando se utilizou zeólita enriquecida com potássio, as plantas apresentaram maiores teores desse nutriente em relação às plantas que receberam fertilizantes na forma solúvel.

2.2.2 Zeólita na disponibilização de fósforo da rocha fosfática

O fósforo é outro elemento essencial para as plantas, estando presente em vários processos metabólicos, como transferência de energia, síntese de ácidos nucleicos, glicólise, respiração, síntese e estabilidade de membrana, ativação e desativação de enzimas, reações redox, metabolismo de carboidratos e fixação de N_2 (VANCE; UHDE-STONE; ALLAN, 2003).

Porém, este é o nutriente mais limitante para o início do desenvolvimento e crescimento das plantas. Ao contrário dos demais nutrientes, a adubação com fósforo deve considerar quantidades várias vezes

maior do que aquela exigida pelas plantas, em razão de considerável parcela ser adsorvida aos colóides do solo, notadamente óxidos de ferro e alumínio, causando a fixação desse elemento (FURTINI NETO et al., 2001).

As melhores fontes de adubos fosfatados são os fosfatos solúveis em água. Porém, eles apresentam custo elevado, quando comparados às fontes pouco solúveis, tais como os fosfatos naturais (RAIJ et al., 1992). A maior eficiência dos fosfatos naturais requer ambientes relativamente mais ácidos e com menores teores de P e Ca^{2+} na solução do solo, para que ocorra sua solubilização.

Estudos com a utilização de zeólitas modificadas por diferentes vias, como pela troca com cátions monovalentes (H^+ , NH_4^+ , K^+ ou Na^+), com rocha fosfática têm apresentado aumento na eficiência agrônômica desses fertilizantes (ALLEN et al., 1993, 1995; BARBARICK; LAI; EBERL, 1990; BERNARDI et al., 2010; PICKERING; MENZIES; HUNTER, 2002). Isso ocorre, pois, quando da liberação dos cátions adsorvidos na estrutura zeolítica, a estrutura fica carregada negativamente, necessitando de um íon positivo. Quando intimamente misturada com a rocha fosfática, a zeólita pode então capturar um íon Ca^{2+} da estrutura da apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3^+$, nas formas hidroxi-, cloro- ou fluorapatita), comum na rocha fosfática, desestruturando quimicamente o mineral e solubilizando-o (BANSIWAL et al., 2006; NOTARIO-DEL-PINO et al., 1995; YUSUPOV et al., 2006).

Bernardi et al. (2005) observaram maiores produções de alface (peso fresco) quando utilizaram zeólita acidificada em mistura com apatita. Quando essa mistura foi comparada com a mistura de zeólita com fosfato de potássio monobásico (KH_2PO_4), uma fonte solúvel de P, os resultados foram equivalentes.

Lai e Eberl (1986) observaram que a solubilização do fósforo do fosfato natural com o uso de zeólita modificada com a adição de cátions de NH_4^+ e Na^+ foi três vezes superior a zeólita natural, e a forma ácida significativamente superior às outras formas.

2.3 Vinhaça

No Brasil, a vinhaça constitui o principal subproduto das destilarias de álcool e cachaça, a partir da cana-de-açúcar, sendo produzidos em média de 10 a 15 litros de vinhaça para cada litro de álcool (CRUZ et al., 2008), dependendo das condições tecnológicas da destilaria.

Também conhecido como restilo ou vinhoto, esse resíduo é caracterizado por ser um líquido de odor forte, coloração marrom-escuro, baixo pH, alto teor de potássio e considerável quantidade de matéria orgânica (SILVA et al., 2014).

O descarte da vinhaça foi, por muitos anos, feito em cursos d'água ou de outra forma inadequada, o que atualmente é proibido por lei (PINTO, 1999), devido ao seu alto poder poluente, cerca de cem vezes maior que o do esgoto doméstico (FREIRE; CORTEZ, 2000), causando, portanto, impactos danosos ao meio ambiente.

A vinhaça é caracterizada também por apresentar um alto poder fertilizante, devido à presença de matéria orgânica e de cátions como K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} (SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007), tendo efeitos no solo como elevação do pH, aumento da disponibilidade desses íons, aumento da capacidade de troca catiônica, aumento da capacidade de retenção de água e melhoria da estrutura física (GLÓRIA; ORLANDO FILHO, 1983).

Giachini e Ferraz (2009) avaliaram positivamente o uso de vinhaça em áreas agrícolas, tanto do ponto de vista agrônômico quanto do econômico e social. Porém, a aplicação de vinhaça ao solo, ao longo dos anos, pode elevar a concentração de sais e o risco de salinização (MADEJON et al., 2001).

Dessa forma, a utilização de zeólita em solos conjuntamente à aplicação de vinhaça como fertilizante, pode atenuar os efeitos negativos da vinhaça, diminuindo a concentração de sais no solo e aumentando retenção dos nutrientes, permitindo que sejam liberados mais lentamente para a

solução do solo, propiciando melhor nutrição das plantas. Isso reduz, principalmente, a lixiviação do potássio.

Ribeiro et al. (2011) avaliando o efeito da vinhaça na adsorção de fósforo em amostras da fração argila de dois solos de mineralogia contrastante quanto aos teores de ferro, observaram que o tratamento da fração argila com vinhaça reduziu a adsorção de fósforo, possivelmente devido ao bloqueio dos sítios de adsorção de fósforo pelos compostos orgânicos da vinhaça e também pelo aumento da carga líquida negativa da fração argila.

2.4 Fosfato reativo de Bayóvar

No Brasil, as fontes de fósforo mais utilizadas são os superfosfatos e fosfatos de amônio, devido à alta solubilidade em água. No entanto, essas fontes são caras e mais suscetíveis às reações de fixação no solo, quando comparadas aos fosfatos naturais reativos (SOUSA; REIN; LOBATO, 2008). De acordo com Goedert, Rein e Sousa (1986), os fosfatos solúveis são mais eficientes, do que os fosfatos naturais em curto prazo, em razão de sua eficiência agronômica estar diretamente associada com a maior solubilidade. No entanto, os fosfatos naturais reativos, por apresentarem reação mais lenta no solo, possuem um elevado efeito residual. Com isso, sua eficiência agronômica, quando estimada por períodos mais longos, pode se igualar a dos fosfatos solúveis (KAMINSKI; PERUZZO, 1997).

Os fosfatos naturais reativos tendem a apresentar menor custo, em razão do seu beneficiamento mais simplificado, relativamente às fontes totalmente aciduladas (MELAMED; GASPAR; MIEKELEY, 2009), podendo disponibilizar o fósforo de maneira mais gradual no solo, reduzindo a intensidade de perdas desse elemento pela fixação (NOVAIS; SMYTH, 1999; RESENDE et al., 2006).

De acordo com León et al. (1986), fazem parte do grupo de rochas fosfáticas de alta eficiência as provenientes de Gafsa (Tunísia), Arad (Israel),

Sechura e Bayóvar (Peru), Carolina do Norte (EUA) e Khouribga (Marrocos).

O fosfato reativo de Bayóvar, oriundo do oeste do deserto de Sechura, costa norte do Peru, possui origem sedimentar (sedimentos marinhos) e, pelo menos, 30 % da concentração total de fosfato é solúvel em ácido cítrico a 2 % (BECH et al., 2010). Esse fosfato apresenta solubilidade intermediária entre as fontes de fósforo solúveis e os demais fosfatos naturais e caracteriza-se por apresentar alto grau de substituição isomórfica do íon fosfato por carbonato, o que lhe confere maior velocidade de reação no solo, quando comparado a outros fosfatos naturais (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização

O experimento foi conduzido em casa de vegetação e no Laboratório de Avaliações Agronômicas e Ambientais do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras – MG, no período de julho a dezembro de 2014.

3.2 Implantação e condução do experimento

O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho – Amarelo Distrófico (LVAd) textura média (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2013), coletado na camada de 0 – 20 cm, no município de Itumirim-MG. Após a coleta, o solo foi destorroado e peneirado em malha com abertura de 2,8 mm, para utilização nos vasos. Uma amostra foi retirada, passada em peneira de 2,0 mm, a fim de se obter terra fina seca ao ar (TFSA) para caracterização química e física (Tabela 1).

Trata-se de um Latossolo de textura média com 72% de areia e com baixa CTC (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V, 1999), características que favorecem a lixiviação de cátions, especialmente o potássio.

Foram utilizados 2,5 kg de solo, pesados e colocados, a princípio, em sacos plásticos para facilitar a mistura dos materiais.

Realizou-se uma incubação do solo com carbonato de cálcio (CaCO_3) e carbonato de magnésio (MgCO_3) numa relação de 4:1, por um período de 20 dias, sob condição de umidade equivalente a 70 % do volume total de poros, para elevar o pH para em torno de 6,0 – 6,5 e elevar a saturação por bases (V) para 70 %.

O experimento foi conduzido utilizando-se a vinhaça e o fosfato reativo de Bayóvar como fontes alternativas de K e P, respectivamente, e a zeólita, em duas granulometrias, como condicionadora de solo.

Tabela 1 Resultados analíticos das análises química e física do solo

Parâmetros	Unidades	Valores
pH		4,8
Potássio(K)	mg dm ⁻³	48
Fósforo (P)		0,84
Cálcio (Ca)		0,3
Magnésio (Mg)		0,2
Alumínio (Al)		0,5
Acidez potencial (H+Al)	cmolc dm ⁻³	3,62
Soma de bases (SB)		0,62
CTC efetiva (t)		1,12
CTC potencial (T)		4,24
Saturação por bases (V)	%	14,7
Saturação por alumínio (m)		44,64
Matéria orgânica (MO)	dag kg ⁻¹	1,52
Fósforo remanescente (P-rem)	mg L ⁻¹	24,34
Zinco (Zn)		0,65
Ferro (Fe)		60,1
Manganês (Mn)	mg dm ⁻³	3,26
Cobre (Cu)		0,68
Boro (B)		0,31
Enxofre (S)		6,63
Argila		23
Silte	%	5
Areia		72

Após o período de reação do calcário, foi feita uma incubação com o Fosfato Reativo de Bayóvar, por um período de 15 dias. A quantidade aplicada da fonte de fósforo foi determinada levando-se em conta o teor de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico a 2% (EMBRAPA, 2009). As características químicas dessa fonte estão representadas na tabela 2.

Tabela 2 Características químicas do fosfato reativo de Bayóvar

Características	Quantidade (%)
P ₂ O ₅ total	26,0
P ₂ O ₅ ácido cítrico	8,5
Cálcio (Ca)	34,3

Ao final das incubações, nos tratamentos que receberam zeólita, foram empregadas duas granulometrias (zeólita fina e zeólita grossa), adicionando-se 250 g do mineral, ou seja, 10% da quantidade de solo (BERNARDI et al., 2009). A zeólita foi misturada ao solo e logo em seguida esse material foi transferido para os vasos. A zeólita foi utilizada em sua forma natural sem nenhuma modificação. Segundo laudo da empresa fornecedora, (Indústria Celta Brasil LTDA), a zeólita utilizada é proveniente de Cuba e é classificada como um aluminossilicato do tipo Clinoptilolita. O produto comercial é denominado Zeocel Clinoptilolita, representado pela fórmula molecular: $(\text{Na,K,Ca})_{2-3}\text{Al}_3(\text{Al,Si})_2\text{Si}_{13}\text{O}_{36}.12\text{H}_2\text{O}$. A tabela 3 representa algumas características desse mineral.

Tabela 3 Características químicas e físicas das zeólitas

Parâmetros	Zeólita Fina	Zeólita Grossa
pH (água)	9,6	8,8
Condutividade elétrica (CE)	500 $\mu\text{S cm}^{-1}$	128 $\mu\text{S cm}^{-1}$
Capacidade de troca de cátions (CTC)	262 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	86 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Granulometria	<0,5 mm	0,5 – 1,0 mm

pH (potencial hidrogeniônico) e CE mensurados em pHmetro e condutivímetro (Mettler Toledo); CTC: metodologia baseada em Cardoso (2012)

Fonte: (CARDOSO, 2012)

Foram utilizados vasos confeccionados a partir de tubos de PVC com 15 cm de diâmetro interno e 20 cm de altura, fechados na parte inferior com caps. A base de cada vaso apresentou um orifício na parte central, com dois centímetros de diâmetro, no qual foi conectado um dreno, a fim de permitir a saída e coleta da solução lixiviada. Ao dreno foi conectada uma mangueira que se conectava a uma garrafinha para coleta da solução. O fundo de cada vaso recebeu um tecido de organza, para impedir a passagem de partículas de solo e evitar o entupimento do orifício, seguido por uma camada de 1,5 cm de areia lavada, para permitir a drenagem. A areia, com granulometria entre 1-2 mm foi lavada com ácido clorídrico (20 %) e água destilada (Figura 2).



Figura 2 Vasos confeccionados para constituição da parcela experimental

A adubação para a planta de girassol foi realizada com base na recomendação de Malavolta (1980) para vasos, modificada, que consiste na aplicação de 300, 250, 150, 50 mg dm^{-3} de N, P, K e S, respectivamente, 5 mg dm^{-3} de Zn, 0,1 mg dm^{-3} de Mo, 3,6 mg dm^{-3} de Mn, 1,5 mg dm^{-3} de Cu, 0,5 mg dm^{-3} de B. Foram utilizadas as fontes p.a. de nitrato de amônio, fosfato de amônio, cloreto de potássio e sulfato de amônio para os macronutrientes N, P, K e S respectivamente. Para o fornecimento dos micronutrientes foram utilizados sulfato de zinco, molibdato de amônio, sulfato de manganês, sulfato de cobre e ácido bórico para Zn, Mo, Mn, Cu e B, respectivamente. As fontes foram aplicadas na forma de solução e os nutrientes foram balanceados.

A vinhaça empregada no experimento foi adquirida em uma cachaçaria da região de Lavras (MG), armazenada em bombonas plásticas de 50 litros e mantida em câmara fria até a sua utilização, sendo aplicada no momento da adubação juntamente com as demais soluções. A quantidade aplicada dessa fonte foi baseada no teor de K^+ , determinado por

cromatografia iônica. O pH, a CE e os teores de íons presentes na vinhaça podem ser observados na tabela 4.

Tabela 4 Características químicas da vinhaça

Parâmetros	Unidades	Valores
pH		3,0
CE	mS cm ⁻¹	3,15
Sódio (Na ⁺)		3,97
Amônio (NH ₄ ⁺)		20,12
Potássio (K ⁺)		603,31
Magnésio (Mg ²⁺)		120,80
Cálcio (Ca ²⁺)	mg L ⁻¹	96,55
Fluoreto (F ⁻)		1087,40
Cloreto (Cl ⁻)		628,57
Fosfato (PO ₄ ³⁻)		60,30
Sulfato (SO ₄ ²⁻)		77,76

pH (potencial hidrogeniônico) e CE (condutividade elétrica) mensurados em pHmetro e condutivímetro (Mettler Toledo); concentrações de íons mensurados em cromatografia iônica (Modelo ICS 1100, Dionex, USA)

A semeadura foi feita diretamente nos vasos, a um centímetro de profundidade, sendo utilizadas três sementes por vaso, de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L. cultivar Pollenless Sunbrigh Supreme), cedidas pela empresa Sakata[®]. Após 21 dias realizou-se o desbaste deixando uma planta por vaso.

A umidade do solo foi repostada diariamente com água deionizada, a fim de se atingir 60% do volume total de poros (VTP) sem, contudo, promover a percolação de água pela coluna de solo.

Aos 49 dias após a semeadura (DAS), foram feitas as avaliações biométricas das plantas, como número de folhas, altura e diâmetro das hastes. A avaliação do diâmetro interno das inflorescências foi realizada de acordo com a abertura total das flores, do qual se seguiu o corte das plantas para avaliações da massa seca.

Após o corte das plantas, iniciou-se os ensaios de lixiviação. Foram realizadas três aplicações de água, em intervalos de cinco dias, com lâminas de água equivalentes a 15, 20 e 50 mm, respectivamente. Como medida preventiva, para evitar o fluxo preferencial de água pelas paredes das colunas tomou-se o cuidado de aplicar a água na porção central da superfície do solo, em cada vaso. O lixiviado dos vasos foi coletado ao final da terceira aplicação, sendo, nessa ocasião, medido o seu volume e a concentração de íons.

Ao final do experimento, foram retiradas amostras de solo de cada vaso para avaliação da fertilidade.

3.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com arranjo fatorial 4 x 3, ou seja, quatro fontes de K e P: cloreto de potássio com fosfato de amônio (KCl e FA), vinhaça com fosfato de amônio (vinhaça e FA), cloreto de potássio com fosfato de reativo de Bayóvar (KCl e FB) e vinhaça com fosfato reativo de Bayóvar (vinhaça e FB) e três condições de zeólita: sem zeólita (SZ), zeólita com granulometria < 0,5mm (zeólita fina – ZF) e zeólita com granulometria 0,5 – 1,0 mm (zeólita grossa - ZG) com quatro repetições, totalizando 48 parcelas, sendo cada parcela experimental formada por um vaso contendo uma planta.

3.4 Avaliações

Aos 49 DAS foram mensurados os valores biométricos das plantas, a saber: número de folhas, altura da haste e diâmetro da haste. O número de folhas foi contabilizado naquelas cujo tamanho da nervura central era superior a 30 cm, sendo também sadias e fotossinteticamente ativas; a altura das hastes foi mensurada, com régua graduada, do colo da planta até a inserção da inflorescência e o diâmetro das hastes foi mensurado com uso de

paquímetro digital, sempre no mesmo local, na altura de três centímetros da base do colo da planta. Após a abertura total da inflorescência, o diâmetro interno da inflorescência, que é formado pelas flores do disco, foi mensurado com régua graduada.

Após aferição do diâmetro interno da inflorescência, as plantas foram cortadas rente ao solo, fracionadas em folhas, hastes e inflorescências, colocadas em saco de papel, levadas à estufa de secagem a 65 °C até se obter peso constante e pesadas para mensuração da massa seca das folhas, hastes, inflorescências e total da parte aérea.

A quantidade de lixiviado foi medida em proveta. As concentrações de íons K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , e PO_4^{3-} , foram determinadas por cromatografia iônica (Modelo ICS 1100, Dionex, USA), operando com um detector de condutividade DS6. As colunas usadas foram Ion Pack AS23, para espécies aniônicas, e Ion Pack CS12A, para espécies catiônicas. Na análise cromatográfica, os eluentes usados foram Na_2CO_3 4,5 mM e $NaHCO_3$ 8 mM, para ânions, e H_2SO_4 20 mM, para cátions, com o fluxo de $0,25 \text{ mL min}^{-1}$ e volume de injeção de 20 μL . A curva padrão foi preparada a partir de soluções estoques de padrões Dionex com concentrações de 1000 mg L^{-1} .

As análises químicas para avaliação fertilidade do solo consistiram de pH em água; cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), e alumínio (Al^{3+}) - extrator KCl (1 mo/L); fósforo (P), potássio (K^+), – extrator Mehlich; enxofre (S) – extrator fosfato monocálcio em ácido acético; capacidade de troca catiônica efetiva (t); capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T); fósforo remanescente (P-rem); índice de saturação de bases (V) e matéria orgânica (MO).

3.5 Análises estatísticas

Os dados padronizados de fertilidade do solo e lixiviação de íons foram submetidos à análise de componentes principais (PCA). Para apresentação dos resultados, os *scores* (pontos) e *loadings* (variáveis) foram

usados para organizar os tratamentos em um plano bidimensional. Essas análises foram realizadas no ambiente de programação R 3. 0. 2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014), utilizando o pacote ggplot.

Os dados das avaliações biométricas, massa seca e lixiviação de K^+ , foram submetidos à análise de variância, empregando-se o teste F e nos casos de significância as médias foram avaliadas pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas pelo programa computacional Sisvar (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fertilidade do solo

A análise de componentes principais (PCA) permitiu explicar 77,3% da variância total dos dados de fertilidade do solo nas duas primeiras componentes. A primeira componente contribuiu com 56,6% e a segunda com 20,7% da variância total (Figura 3).

Na primeira componente, houve um efeito das condições de zeólita, divididas em presença e ausência do mineral, e na segunda componente, houve efeito das fontes de K e P, divididas em fonte convencional e fonte alternativa de P, independentemente da fonte de K.

A estrutura da PCA que indica uma correlação das variáveis originais com as componentes 1 e 2, é representada pela direção, sentido e comprimento das setas apresentadas no biplot. Dessa forma, verifica-se, que a presença da zeólita, nas duas granulometrias, promoveu aumento do pH, dos teores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , da saturação por bases (V) e da CTC efetiva (t) e potencial (T).

De modo geral, todos os tratamentos aplicados aumentaram os valores do pH, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , V, t e T no solo, após o cultivo do girassol ornamental, porém, esse aumento foi mais pronunciado nos solos em que houve adição de zeólita. Provavelmente, a zeólita liberou OH^- (Tabela 3) e bases trocáveis principalmente K^+ e Ca^{2+} (Tabela 5), o que promoveu o aumento do pH e da saturação por bases. Rădulescu (2013) estudando a adição de doses de tufo vulcânico zeolítico no solo, constituído de cerca de 60% de clinoptilolita, observou aumento nos teores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} disponíveis no solo com o aumento das doses, sendo esses teores superiores aos dos tratamentos sem adição desse material.

O aumento da CTC efetiva e da CTC potencial é explicado pela característica desse mineral em apresentar em sua constituição vários cátions

de compensação como K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , que podem ser substituídos por outros cátions em solução por troca iônica (LUZ, 1995).

Observa-se aumento dos teores de P e S devido à utilização das fontes KCl e FB e vinhaça e FB. Além disso, houve aumento nos teores de P-rem, MO e Al^{3+} devido à presença das fontes KCl e FA e vinhaça e FA.

Os elevados teores de fósforo encontrados no solo na presença das fontes KCl e FB e vinhaça e FB deve-se, em parte, ao extrator ácido utilizado para a avaliação desse nutriente, o Mehlich-1. Segundo Raij (1991), os extratores ácidos superestimam a disponibilidade de fósforo para as plantas, extraindo quantidades que estão acima daquelas solubilizadas dos fosfatos naturais nas condições normais de solo.

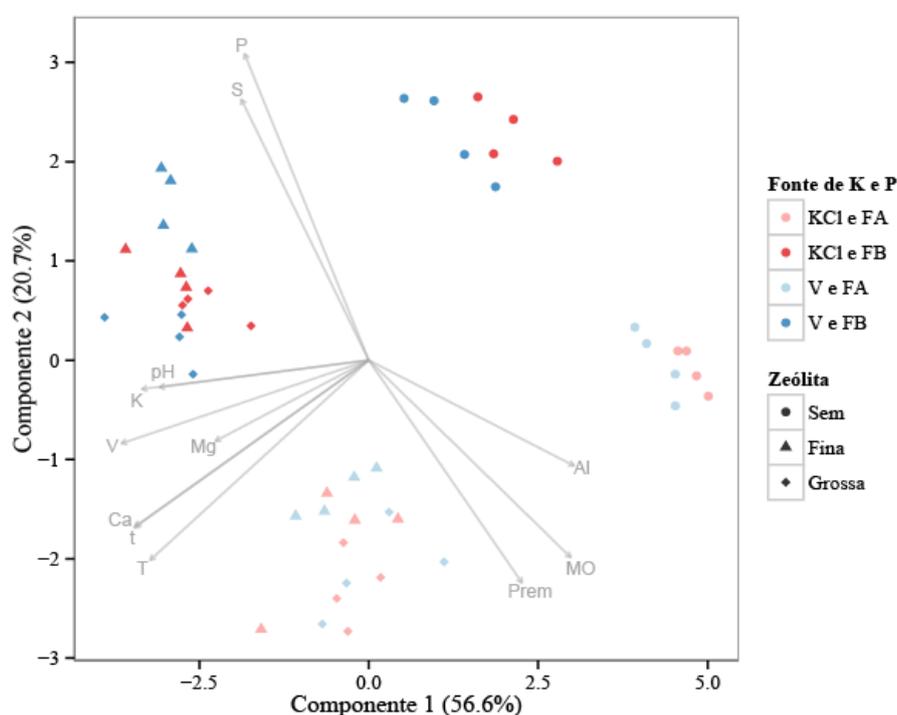


Figura 3 Análise de componentes principais do pH, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , P, P-rem, S, Al^{3+} , V, t, T e MO do solo cultivado com girassol ornamental sob diferentes fontes de K e P e condições de zeólita; KCl: cloreto de potássio; V: vinhaça; FA: fosfato de amônio; FB: fosfato reativo de Bayóvar

O extrator Mehlich-1 solubilizou o fosfato reativo de Bayóvar durante o processo analítico, extraindo quantidades superiores (Tabela 5), considerando-se a quantidade adicionada do fosfato natural, baseada na solubilidade em ácido cítrico, 250 mg dm^{-3} . O fosfato de cálcio deste fertilizante foi solubilizado pela acidez do extrator, superestimando a disponibilidade de fósforo. Esse resultado é semelhante ao obtido por Corrêa et al. (2008), que compararam a disponibilidade de fósforo para plantas de milho em solo fertilizado com superfosfato triplo e fosfato natural de Gafsa utilizando diferentes extratores, Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1.

O P-rem mede a quantidade de fósforo que permanece em solução de equilíbrio em resposta a uma concentração de P adicionada ao solo (DONAGEMMA et al., 2008). Segundo Alvarez V e Fonseca (1990), esse atributo químico do solo depende da atuação combinada da concentração de fósforo adicionada e do tempo de contato. Assim, pode-se inferir que os maiores teores de P-rem no solo, devido à utilização das fontes KCl e FA e vinhaça e FA, ocorrem em razão de a fonte de fósforo utilizada ser relativamente solúvel e, com isso, aumentar consideravelmente a concentração do fósforo na solução do solo quando em comparação com os fosfatos naturais. Além disso, o aumento do P-rem pode estar relacionado ao aumento da MO, pois, a MO forma complexos que bloqueiam os sítios de adsorção de fosfato na superfície de óxidos de ferro e alumínio (RIBEIRO et al., 2011; SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007; TIRLONI et al., 2009). Segundo Hue (1991), os grupos funcionais carboxílicos e fenólicos presentes na MO são responsáveis pelo bloqueio dos sítios de carga positiva dos óxidos de Fe e Al, reduzindo a adsorção do fósforo.

Os teores de Al^{3+} no solo reduziram em todos os tratamentos aplicados, porém, nos tratamentos com as fontes KCl e FA e vinhaça e FA essa redução foi menos pronunciada. Os maiores teores de Al^{3+} associados a essas fontes podem estar relacionados aos valores mais baixos de pH e da saturação por bases dos solos devido a esses tratamentos. De acordo com Ribeiro, Guimarães e Alvarez V (1999), teores de $\text{Al}^{3+} \leq 0,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ são

considerados muito baixos, com isso pode-se inferir que, a presença desse elemento nos solos adubados com a fonte convencional de fósforo não é prejudicial as plantas de girassol ornamental.

Apenas os tratamentos KCl e FA e vinhaça e FA, na ausência da zeólita, aumentaram os teores de MO do solo, após o cultivo do girassol ornamental. Porém nos tratamentos com a fonte convencional de fósforo esses teores foram superiores quando comparados aos tratamentos com a fonte alternativa. Segundo Boeira e Souza (2007) e Merten e Mielniczuk, (1992), o carbono orgânico pode ser adicionado ao solo pela degradação das raízes. Embora as raízes não tenham sido quantificadas no presente trabalho, pode-se inferir que nos tratamentos com a fonte convencional de P por terem proporcionado maior biomassa da parte aérea, também ocorreram maior quantidade de raízes, Gregory (2006), propiciando com isso o maior incremento de MO.

Devido à indisponibilidade do fósforo nos tratamentos com fosfato reativo de Bayóvar, os microrganismos podem ter mineralizado a matéria orgânica presentes nesses tratamentos, reduzindo assim o seu teor.

Tabela 5 Médias do pH, teores de K⁺, P, S, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, t, T, V, M.O e P-rem nos solos cultivados com girassol ornamental sob diferentes fontes de K e P e condições de zeólita

Fonte de K e P	Zeólita	pH	K ⁺	P	S	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	t	T	V	MO	P-rem
			----- mg dm ⁻³ -----			----- cmol dm ⁻³ -----			%	dag g ⁻¹	mgL ⁻¹		
KCl e FA	Sem Zeólita	5,2	33,0	45,50	15,62	1,25	0,27	0,2	1,81	5,44	29,61	1,69	30,66
	Zeólita Fina	7,2	74,0	56,82	5,11	11,87	0,27	0,0	12,33	13,87	88,59	1,40	28,59
	Zeólita Grossa	6,0	113,0	57,04	12,45	11,35	0,87	0,1	12,61	15,26	82,01	1,46	29,71
Vinhaça e FA	Sem Zeólita	5,5	38,5	52,59	8,75	1,32	0,32	0,15	1,90	5,27	33,17	1,63	29,47
	Zeólita Fina	7,4	64,0	53,05	8,76	10,70	0,32	0,0	11,18	12,68	88,08	1,38	27,21
	Zeólita Grossa	6,5	107,5	51,75	9,92	9,45	0,87	0,1	10,90	12,68	85,73	1,52	30,18
KCl e FB	Sem Zeólita	5,9	32,5	340,58	33,37	2,67	0,20	0,05	3,00	5,10	58,01	1,36	25,24
	Zeólita Fina	7,1	133,5	274,51	39,94	12,90	0,50	0,0	13,74	14,87	92,28	0,75	21,89
	Zeólita Grossa	6,4	161,5	303,11	39,56	10,20	0,97	0,0	11,59	13,22	87,69	0,59	27,66
Vinhaça e FB	Sem Zeólita	6,3	52,0	403,45	23,69	2,50	0,50	0,0	3,13	4,80	65,29	0,99	26,54
	Zeólita Fina	7,5	130,5	392,71	35,13	10,90	0,52	0,0	11,76	12,80	91,88	0,51	21,69
	Zeólita Grossa	6,9	166,5	410,76	29,24	11,55	1,12	0,0	13,10	14,36	91,18	0,85	25,65

KCl: cloreto de potássio; FA: fosfato de amônio; FB: fosfato reativo de Bayóvar

4.2 Avaliações biométricas

A tabela 6 representa a análise de variância do número de folhas, altura das hastes, diâmetro das hastes e diâmetro interno das inflorescências de plantas de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L. cultivar Pollenless Sunbrighth Supreme) aos 49 DAS. Houve efeito significativo ($p < 0,05$) da interação Fonte K e P x zeólita para todas as variáveis.

Tabela 6 Resumo da ANOVA para número de folhas, altura das hastes, diâmetro das hastes e diâmetro interno das inflorescências de plantas de girassol ornamental aos 49 DAS cultivadas sob diferentes fontes de K e P e condições de zeólita

Fontes de Variação	GL	Quadrado médio			
		Número de folhas	Altura das hastes	Hastes	Diâmetro Inflorescência
Fonte K e P	3	246,00**	5713,79**	164,77**	82,90**
Zeólita	2	194,15**	1044,37**	33,31**	41,56**
Fonte K e P x Zeólita	6	69,90**	681,84**	20,46**	19,04**
Erro	36	3,08	60,50	0,67	0,69
CV	(%)	15,72	19,79	10,49	15,9

** significativo a 5% pelo teste F; CV – coeficiente de variação; GL – grau de liberdade.

Observa-se no desdobramento do fator zeólita dentro do fator fonte de K e P que, para as quatro variáveis, não houve diferença significativa entre as condições de zeólita para as plantas de girassol ornamental cultivadas com as fontes KCl e FA e com vinhaça e FA. Contudo, em plantas cultivadas com as fontes KCl e FB e com vinhaça e FB, na ausência da zeólita, encontram-se os melhores resultados em relação à presença desse mineral (Figura 4).

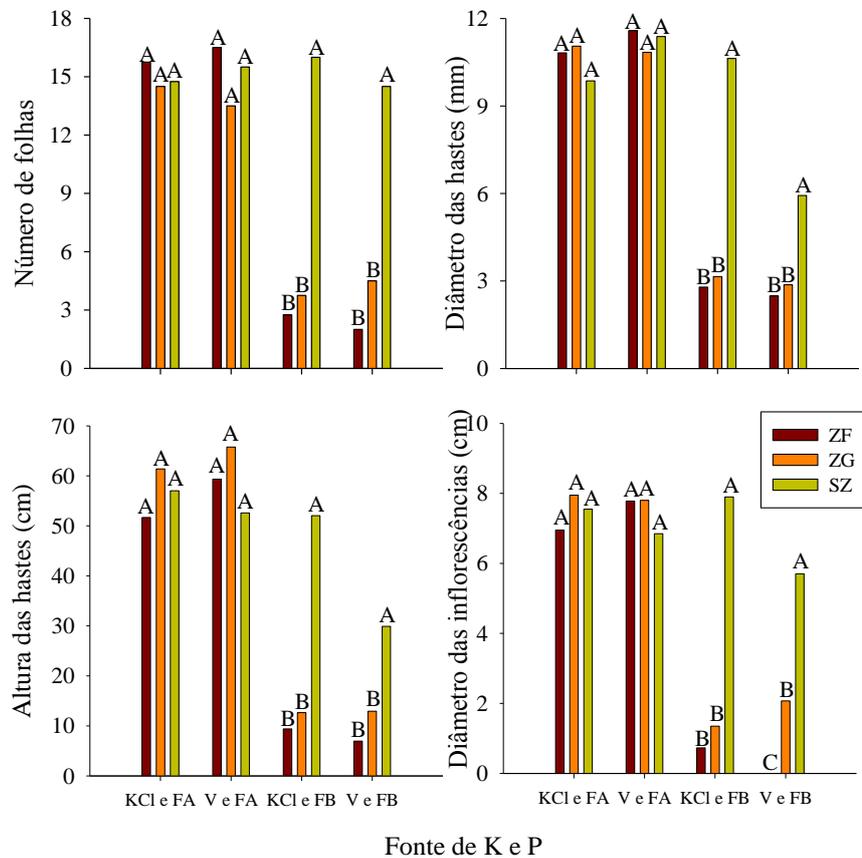


Figura 4 Número de folhas, altura e diâmetro das hastes e diâmetro interno das inflorescências das plantas de girassol ornamental aos 49 DAS; desdobramento do fator Zeólita dentro do fator Fonte K e P; KCl: cloreto de potássio; V: vinhaça; FA: fosfato de amônio; FB: fosfato reativo de Bayóvar; ZF: zeólita fina; ZG: zeólita grossa; SZ: sem zeólita

No desdobramento do fator fonte de K e P dentro do fator zeólita, observa-se para as quatro variáveis que na presença da zeólita, nas duas granulometrias, as fontes KCl e FA e vinhaça e FA proporcionaram os melhores resultados em relação as fontes KCl e FB e vinhaça e FB. Já na ausência da zeólita para o número de folhas não houve diferença significativa entre as fontes, porém para as variáveis altura e diâmetro das hastes e diâmetro interno das inflorescências não houve diferença

significativa entre as fontes KCl e FA, vinhaça e FA e KCl e FB, sendo estas superiores as fontes vinhaça e FB (Figura 5).

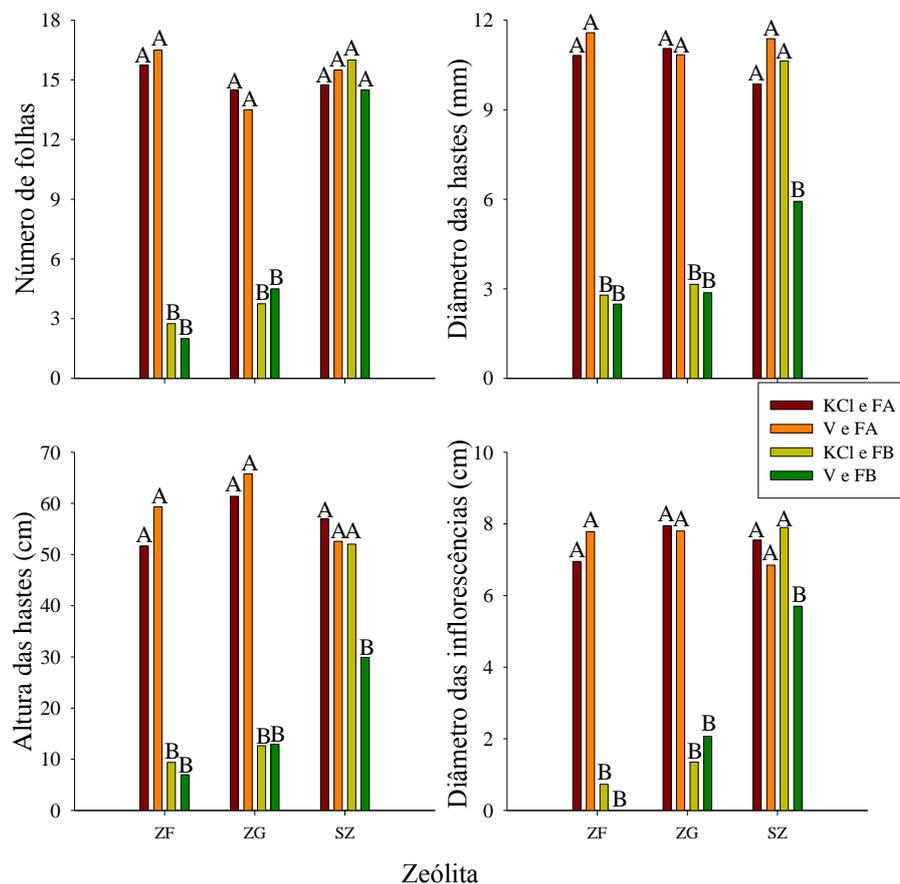


Figura 5 Número de folhas, altura e diâmetro das hastes e diâmetro interno das inflorescências das plantas de girassol ornamental aos 49 DAS; desdobramento do fator Fonte K e P dentro do fator Zeólita; KCl: cloreto de potássio; V: vinhaça; FA: fosfato de amônio; FB: fosfato reativo de Bayóvar; ZF: zeólita fina; ZG: zeólita grossa; SZ: sem zeólita

Na comercialização do girassol ornamental como flor de corte, principalmente para arranjos e buquês, as folhas são descartadas no momento da colheita (SANTOS JÚNIOR et al., 2014), porém, durante a fase de crescimento e desenvolvimento das plantas, a quantidade e a qualidade

das folhas influenciam em processos fisiológicos, como exemplo, a fotossíntese, que propiciam maior produção e qualidade de flores.

De acordo com Grieve e Poss (2010), para atender aos elevados padrões comerciais de girassol ornamental como flor de corte, a altura das hastes deve ser de cerca de 50 cm e o intervalo de 5 a 15 mm para o diâmetro das hastes é o indicado como padrão de qualidade. Diante desse critério, observa-se depreciação comprometedora para comercialização das plantas cultivadas com KCl e FB na presença da zeólita e vinhaça e FB tanto na presença como na ausência do mineral.

O diâmetro interno da inflorescência é, juntamente com a altura das hastes, a variável que indica o valor comercial das plantas de girassol ornamental (NEVES et al., 2005).

Observa-se o mesmo comportamento das plantas de girassol ornamental em relação aos tratamentos aplicados, para todas as variáveis estudadas. As plantas cultivadas com as fontes KCl e FB e vinhaça e FB na presença da zeólita, nas duas granulometrias, apresentaram resultados inferiores em relação aos demais tratamentos.

Esses resultados podem ser atribuídos ao aumento do pH e do teor de Ca^{2+} do solo promovidos pela presença da zeólita (Figura 3 e Tabela 5), pois os fosfatos naturais são sensíveis a essas condições (OLIVEIRA et al., 2014), que propiciam a precipitação do fosfato de cálcio e reduzem a eficiência agronômica dos fosfatos. A precipitação ocorre quando o fósforo reage com formas iônicas de Ca^{2+} em pH elevado, produzindo fosfato de cálcio (PARFITT, 1978).

O baixo suprimento de prótons e a maior concentração de Ca^{2+} em solução também tendem a gerar um desequilíbrio na reação de dissolução dos fosfatos naturais, reduzindo a intensidade de liberação de P para o solo (CHIEN; MENON, 1995; RAJAN; CASANOVA; TRUONG, 2004). De acordo com Kaminski e Peruzzo (1997), solos com baixo pH e baixos teores de P e Ca^{2+} trocáveis na solução, contribuem para dissolução desses fosfatos, aumentando a disponibilidade para as plantas.

Plantas cultivadas com as fontes vinhaça e FB, na ausência da zeólita, apresentaram resultados superiores em relação às cultivadas na presença da zeólita, para todas as variáveis avaliadas. Porém, na ausência da zeólita, comparando-se as fontes de K e P, observam-se resultados inferiores das fontes vinhaça e FB para as variáveis altura das hastes, diâmetro das hastes e diâmetro interno das inflorescências.

A vinhaça provoca alterações no pH do solo devido a ação dos microrganismos (ROSSETTO, 1987). Segundo Matiazzo e Glória (1980), o pH do solo tende a diminuir nos primeiros dez dias após a aplicação da vinhaça, em seguida, o pH eleva-se abruptamente podendo atingir valores superiores a 7. Esse comportamento da vinhaça, na fase inicial de cultivo, associado à possibilidade de precipitação dos fosfatos a altos valores de pH, explica a inferioridade das plantas de girassol ornamental quando cultivadas com as fontes vinhaça e FB, na ausência do mineral.

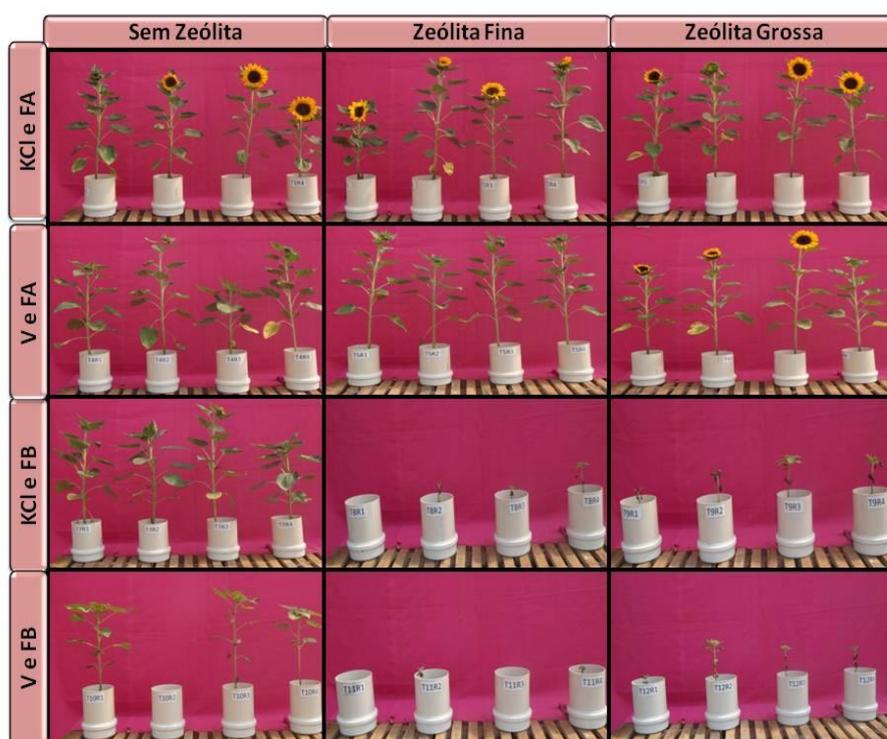


Figura 6 Plantas de girassol ornamental aos 49 DAS

4.3 Massa seca

A tabela 7 representa a análise de variância para a massa seca das folhas, das hastes, das inflorescências e total de plantas de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L. cultivar Pollenless Sunbrigh Supreme) aos 49 DAS. Verifica-se que houve efeito significativo ($p < 0,05$) da interação Fonte K e P x zeólita para todas as variáveis avaliadas.

Tabela 7 Resumo da ANOVA para massa seca das folhas, hastes, inflorescências e total de plantas de girassol ornamental aos 49 DAS cultivadas sob diferentes fontes de K e P e condições de zeólita

Fontes de Variação	GL	Quadrado médio			
		Massa seca (g planta ⁻¹)			
		Folhas	Hastes	Inflorescências	Total
Fonte K e P	3	96,72**	231,90**	97,43**	1180,23**
Zeólita	2	53,10**	72,29**	23,17**	421,23**
Fonte K e P x Zeólita	6	18,95**	51,67**	21,02**	249,76**
Erro	36	1,18	2,98	0,49	8,61
CV	(%)	22,07	24,53	14,97	17,64

** significativo a 5% pelo teste F; CV – coeficiente de variação; GL – grau de liberdade.

4.3.1 Folhas

As plantas de girassol ornamental não apresentaram diferença significativa na massa seca das folhas entre as condições de zeólita, quando cultivadas com as fontes KCl e FA. Plantas cultivadas com as fontes vinhaça e FA com zeólita fina e sem zeólita apresentaram resultados superiores em relação às cultivadas com zeólita grossa. E o cultivo das plantas com as fontes KCl e FB e vinhaça e FB, na ausência da zeólita, proporcionaram quantidades superiores de massa seca das folhas em relação ao cultivo com zeólita (Figura 7b).

Na presença da zeólita, nas duas granulometrias, as fontes KCl e FA e vinhaça e FA proporcionaram maior produção de massa seca das folhas em relação às fontes KCl e FB e vinhaça e FB. Na ausência do mineral, as fontes vinhaça e FA e KCl e FB proporcionaram os maiores valores de massa seca das folhas, seguidas pelas fontes KCl e FA e estas seguidas pelas fontes vinhaça e FB (Figura 7b).

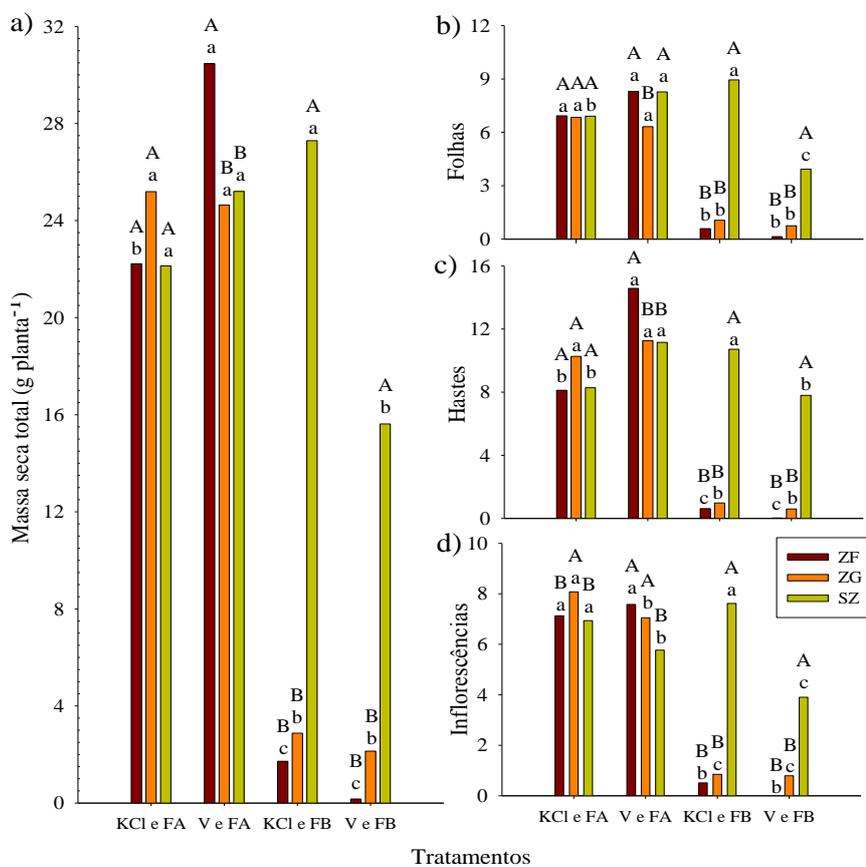


Figura 7 Massa seca das folhas, hastes, inflorescências e total de plantas de girassol ornamental aos 49 DAS; letras maiúsculas comparam médias de Zeólita em um mesmo nível de Fonte de K e P e letras minúsculas comparam médias de Fonte de K e P em um mesmo nível de Zeólita pelo teste de Scott-Knott, ao nível de significância de 0,05. KCl: cloreto de potássio; V: vinhaça; FA: fosfato de amônio, FB: fosfato reativo de Bayóvar; ZF: zeólita fina; ZG: zeólita grossa; SZ: sem zeólita

4.3.2 Hastes

Analisando a massa seca das hastes, verifica-se que não houve diferença significativa entre as condições de zeólita para as plantas cultivadas com as fontes KCl e FA. Plantas cultivadas com as fontes vinhaça e FA, na presença da zeólita fina, apresentaram os maiores valores de massa seca das hastes em relação à ausência e a presença da zeólita grossa. Já as plantas cultivadas com as fontes KCl e FB e vinhaça e FB na ausência da zeólita apresentaram os maiores incrementos de massa seca das hastes em relação as plantas cultivadas com zeólita (Figura 7c).

Na presença da zeólita fina, as fontes vinhaça e FA foram as que promoveram os maiores valores de massa seca das hastes, seguida pelas fontes KCl e FA e estas seguidas pelas fontes KCl e FB e vinhaça e FB. Na presença da zeólita grossa, as fontes KCl e FA e vinhaça e FA apresentaram resultados superiores em relação às fontes KCl e FB e vinhaça e FB. E na ausência da zeólita, as fontes vinhaça e FA e KCl e FB proporcionaram maiores incrementos de massa seca das hastes (Figura 7c).

4.3.3 Inflorescências

Plantas cultivadas com as fontes KCl e FA na presença da zeólita grossa apresentaram os maiores valores de massa seca das inflorescências em relação às demais condições de zeólita. Em relação às fontes vinhaça e FA, as plantas cultivadas na presença da zeólita, nas duas granulometrias, apresentaram as maiores massas quando comparadas com plantas cultivadas na ausência desse mineral. Quando as fontes KCl e FB e vinhaça e FB foram utilizadas no cultivo das plantas, na ausência da zeólita foram observados os maiores incrementos de massa seca das inflorescências em relação à presença do mineral (Figura 7d).

Plantas cultivadas com zeólita fina apresentaram maiores incrementos na massa seca das inflorescências, quando as fontes utilizadas

foram KCl e FA e vinhaça e FA. Na presença da zeólita grossa, os maiores valores de massa seca das inflorescências foram alcançados com as fontes KCl e FA, seguidas das fontes vinhaça e FA e estas seguidas das fontes KCl e FB e vinhaça e FB. E na ausência da zeólita, os melhores resultados de massa seca das inflorescências foram obtidos pelas fontes KCl e FA e KCl e FB, seguidas pelas fontes vinhaça e FA sendo estas superiores as fontes vinhaça e FB (Figura 7d).

4.3.4 Total

Comparando-se a massa seca total das plantas de girassol ornamental, observa-se que não houve diferença significativa entre as condições de zeólita para plantas cultivadas com as fontes KCl e FA. Plantas cultivadas com as fontes vinhaça e FA na presença da zeólita fina apresentaram os maiores valores de massa seca total e quando as fontes utilizadas foram KCl e FB e vinhaça e FB a ausência da zeólita proporcionou os melhores resultados de massa seca total (Figura 7a).

No cultivo com zeólita fina, as fontes vinhaça e FA apresentaram os maiores incrementos de massa seca total, seguida pelas fontes KCl e FA e estas seguidas pelas fontes KCl e FB e vinhaça e FB. Na presença da zeólita grossa, as fontes KCl e FA e vinhaça e FA apresentaram resultados superiores em relação às fontes KCl e FB e vinhaça e FB. E na ausência da zeólita, as fontes KCl e FA, vinhaça e FA e KCl e FB apresentaram os maiores incrementos de massa seca total em relação à fonte vinhaça e FB (Figura 7a).

Os resultados de massa seca das folhas, hastes, inflorescências e total foram semelhantes aos resultados dos dados biométricos para plantas cultivadas com as fontes KCl e FB e vinhaça e FB, na presença da zeólita. Como relatado anteriormente, a inferioridade desses resultados ocorreram devido ao aumento do pH e do teor de Ca^{2+} do solo promovidos pela presença da zeólita, o que dificultou a dissolução da rocha fosfática ou

promoveu a precipitação do fósforo em fosfato de cálcio, reduzindo a disponibilidade desse nutriente para as plantas.

Pickering, Menzies e Hunter (2002), avaliando a absorção de fósforo pelo girassol ornamental, a partir de uma mistura de rocha fosfática com zeólita saturada com NH_4^+ e Ca^{2+} , encontraram maior produção de massa seca da parte aérea, quando a zeólita foi saturada com NH_4^+ , $9,33 \text{ g planta}^{-1}$, em relação a zeólita saturada com Ca^{2+} , $1,18 \text{ g planta}^{-1}$. A produção de massa seca da parte aérea, das plantas do presente trabalho, cultivadas com a fonte alternativa de fósforo, na presença da zeólita, apresentaram resultados semelhantes aos da zeólita saturada com Ca^{2+} ($0,17$ a $2,88 \text{ g planta}^{-1}$). Contudo, plantas cultivadas com fosfato reativo de Bayóvar, sem a zeólita, apresentaram resultados superiores aos encontrados pelos referidos autores ($27,29 \text{ g planta}^{-1}$ para KCl e FB e $15,62 \text{ g planta}^{-1}$ para vinhaça e FB), mesmo para zeólita saturada com NH_4^+ .

A absorção de NH_4^+ pelas plantas libera sítios de troca na zeólita, que são ocupados por Ca^{2+} , diminuindo a concentração desse cátion na solução do solo e induzindo ainda mais a dissolução da rocha fosfática, ou reduzindo a precipitação como fosfato de cálcio. Nesse caso há liberação de apenas de NH_4^+ pela zeólita, pois ela se encontra na sua forma homoiônica. No presente estudo a zeólita foi utilizada em sua forma natural, ou seja, contendo vários cátions de compensação. Um desses cátions, presente na estrutura da zeólita, é o Ca^{2+} , e no processo de troca iônica que ocorre no solo esse nutriente foi liberado (Tabela 5), dificultando assim a dissolução da rocha fosfática ou reduzindo a disponibilidade de fósforo, pela precipitação já mencionada, como no trabalho de Pickering, Menzies e Hunter (2002), quando a zeólita foi saturada com Ca^{2+} , reduzindo, dessa forma, a produção de massa seca.

De acordo com Grant et al. (2001), as limitações na disponibilidade de fósforo no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento das raízes e parte aérea, das quais a planta não se recupera, mesmo aumentando o suprimento de fósforo a níveis adequados, limitando

seriamente a produção. Esse relato, explica a menor produção de massa seca da parte aérea das plantas nos tratamentos, KCl e FB na presença da zeólita, vinhaça e FB na presença e ausência da zeólita, em que a disponibilidade desse nutriente foi comprometida logo no início do cultivo.

4.4 Lixiviação

A análise de componentes principais (PCA) permitiu explicar 68,3% da variância total dos dados de lixiviados do solo nas duas primeiras componentes, na qual, a primeira componente contribui com 38% e a segunda com 30,3% da variância total (Figura 8).

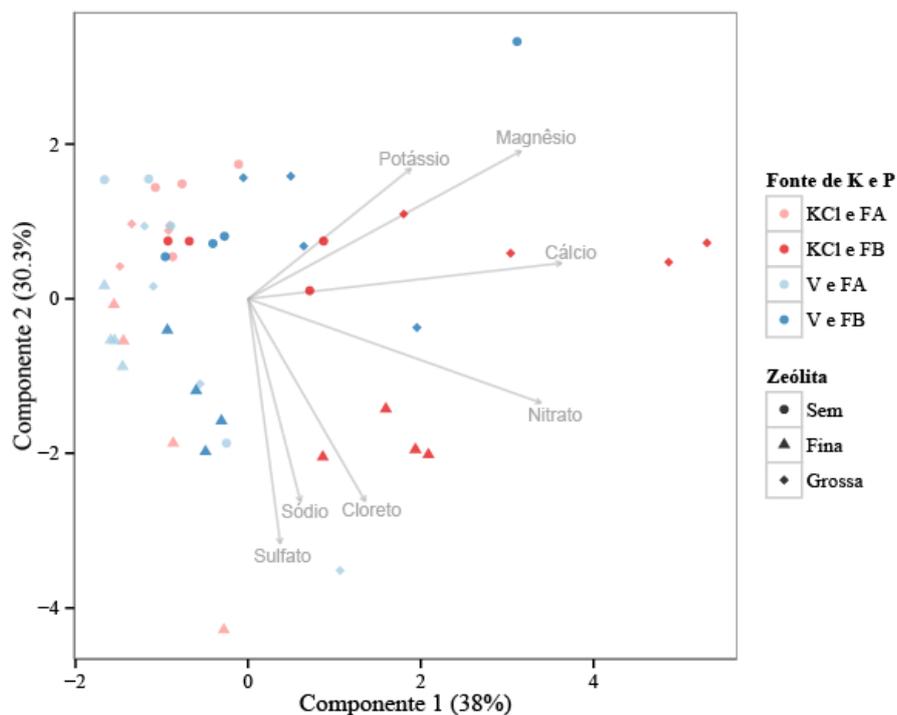


Figura 8 Análise de componentes principais das quantidades totais de K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NO₃⁻, Cl⁻ e SO₄²⁻ lixiviadas após ensaio de aplicação de água em solo cultivado com girassol ornamental sob diferentes fontes de K e P e condições de zeólita

Verifica-se que os tratamentos KCl e FB e vinhaça e FB na presença da zeólita grossa potencializam a lixiviação dos íons K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . O aumento das quantidades totais de K^+ e Mg^{2+} lixiviados é atribuído aos teores mais altos desses íons no solo (Tabela 5), em razão dos tratamentos. As fontes KCl e FB e vinhaça e FB, na presença da zeólita fina, potencializam a lixiviação dos íons Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} e NO_3^- .

Pode-se observar que a direção das setas dos íons K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} está contrária aos tratamentos com a presença da zeólita fina. Esse resultado permite inferir que a zeólita, na menor granulometria, retém mais íons, que são cátions trocáveis de alta importância para a fertilidade do solo e nutrição das plantas.

Os íons NH_4^+ e PO_4^{-3} não foram quantificados pela cromatografia iônica.

Analisando o K^+ separadamente, observa-se que houve efeito da interação entre as fontes de K e P e condições de zeólita para as quantidades totais lixiviadas desse cátion (Figura 9).

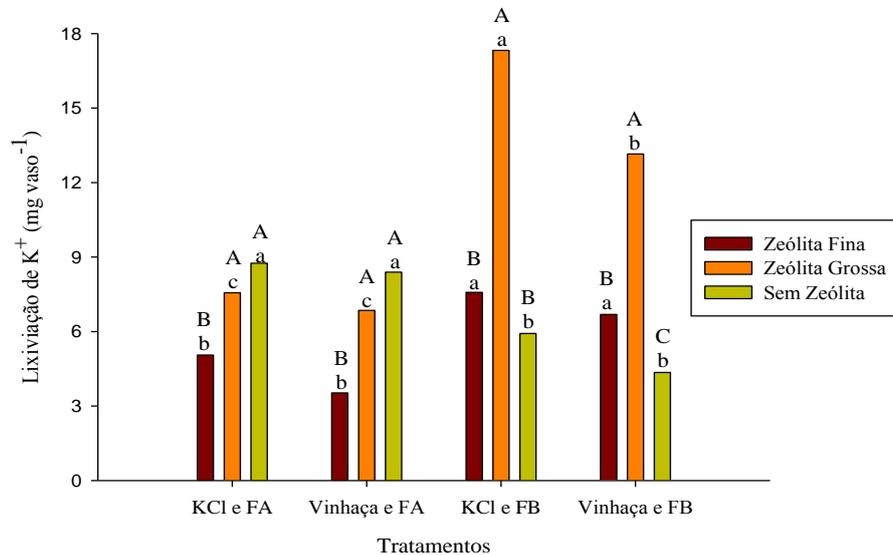


Figura 9 Quantidades totais de K^+ lixiviadas após ensaio de aplicação de água em solo cultivado com girassol ornamental sob diferentes fontes de K e P e condições de zeólita; letras maiúsculas comparam médias de Zeólita em um mesmo nível de Fonte de K e P e letras minúsculas comparam médias de Fonte de K e P em um mesmo nível de Zeólita pelo teste de Scott-Knott, ao nível de significância de 0,05. KCl: cloreto de potássio; FA: fosfato de amônio, FB: fosfato reativo de Bayóvar

Para os tratamentos com as fontes KCl e FA e vinhaça e FA, a maior lixiviação de K^+ ocorreu na presença da zeólita grossa e na ausência da zeólita. Quando as fontes utilizadas foram KCl e FB a maior lixiviação desse cátion, ocorreu na presença da zeólita grossa. E para os tratamentos com as fontes vinhaça e FB as maiores quantidades de K^+ lixiviadas foram encontradas na presença da zeólita grossa, seguida pela presença da zeólita fina e esta seguida pela ausência da zeólita.

Esses resultados mostram o potencial da zeólita fina em reter o cátion K^+ , pois, mesmo para as fontes KCl e FB onde não houve diferença significativa entre a lixiviação do K^+ na presença da zeólita fina e na ausência da zeólita, pode-se observar na tabela 5, que os teores de K^+ no solo, na ausência do mineral, são 4 vezes menores que os teores de K^+ nos

solos com a presença da zeólita fina. O mesmo ocorre com as fontes vinhaça e FB no qual os teores de K^+ nos solos com zeólita fina são 2,5 vezes maiores que nos solos sem zeólita.

O melhor desempenho da zeólita fina em relação à zeólita grossa pode estar relacionado ao menor teor desse cátion nos solos, à maior CTC e à menor granulometria (Tabela 3). Wu et al. (2013) testando a lixiviação de K^+ em colunas com solo, observaram que com a presença da zeólita clinoptilolita, com CTC igual a $249 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, houve uma maior retenção desse cátion.

Em relação às fontes de K e P utilizadas, verifica-se, que na presença da zeólita fina, a maior lixiviação de K^+ ocorreu nos tratamentos com as fontes KCl e FB e vinhaça e FB. Na presença da zeólita grossa, a lixiviação foi maior com as fontes KCl e FB, seguida pela fonte vinhaça e FB e esta seguida pelas fontes KCl e FA e vinhaça e FA. E na ausência da zeólita, a maior lixiviação ocorreu nos tratamentos com as fontes KCl e FA e vinhaça e FA.

Entre as fontes de K^+ , só houve diferença significativa quando na presença do fosfato reativo de Bayóvar e da zeólita grossa, na qual a maior lixiviação de K^+ ocorreu em decorrência da fonte convencional. Contudo, mesmo não havendo diferença estatística nos demais tratamentos, observa-se uma tendência de maior lixiviação proveniente do KCl. Duarte, Pereira e Korndorfer (2013), comparando a lixiviação de K^+ proveniente de termopotássio e KCl, verificaram maior lixiviação desse nutriente a partir do KCl. Segundo estes autores o KCl é um sal altamente solúvel em água, o que potencializa sua lixiviação.

A diferença significava ocorreu devido as fontes de P. A maior lixiviação das fontes KCl e FB e vinhaça e FB na presença da zeólita pode ter ocorrido provavelmente pelo maior teor desse nutriente no solo. Werle, Garcia e Rosolem (2008), estudando a lixiviação de K^+ em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo, observaram que a elevação dos

teores de K^+ no solo favorece a lixiviação, mesmo em solos mais argilosos e com alta CTC.

5 CONCLUSÕES

A presença da zeólita promoveu melhorias na fertilidade do solo, quando se observa a caracterização do solo depois do cultivo.

A melhoria da fertilidade não foi acompanhada de aumento nos parâmetros das plantas de girassol ornamental.

A zeólita reduziu a disponibilidade de fósforo, proveniente do fosfato reativo de Bayóvar, para as plantas.

Na ausência da zeólita e da vinhaça, o fosfato reativo de Bayóvar apresentou-se como uma boa fonte de fósforo, principalmente pelo ciclo curto de cultivo do girassol ornamental, mostrando maior eficiência em condições de pH e teor de Ca^{2+} mais baixos.

A vinhaça apresentou comportamento semelhante ao KCl, apresentando elevado potencial como fonte de K^+ .

A zeólita fina promoveu maior retenção dos cátions trocáveis como K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , reduzindo, desta forma, as suas perdas por lixiviação.

Houve menor lixiviação de K^+ nos tratamentos com vinhaça.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No geral, os tratamentos aplicados promoveram melhorias na fertilidade do solo. Porém, o ciclo de cultivo do girassol ornamental é curto, tendo sido de 50 dias na ocasião do presente trabalho.

A utilização de culturas de ciclos mais longos ou de cultivos sucessivos do próprio girassol propiciará que a zeólita, por exemplo, aumente a interação tanto com sólidos quanto com a solução do solo, podendo conduzir a resultados que não somente corroborarão a discussão do presente trabalho, mas a mais efetiva interação entre esse condicionador, o solo e a planta.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. R. M. P.; NOVAES, A. C.; GUARINO, A. W. S. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, p. 1145-1154, 2002.

ALLEN, E. et al. Growth and nutrient uptake of wheat in a clinoptilolite-phosphate rock substrate. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, p. 1052-1059, 1995.

ALLEN, E. et al. Solubility and cation exchange in phosphate rock and saturated clinoptilolite mixtures. **Soil Science Society of America Journal**, Fayetteville, v. 57, p. 1368-1374, 1993.

ALVAREZ V, V. H.; FONSECA, D. M. Definição de doses de fósforo para a determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfato e para ensaios de casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 14, p. 49-55, 1990.

ANEFALOS, L. C.; GUILHOTO, J. J. M. Estrutura do mercado brasileiro de flores e plantas ornamentais. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 50, n. 2, p. 41-63, 2003.

BANSIWAL, A. et al. Surfactant-modified zeolite as a slow release fertilizer for phosphorus. **Journal Agricultural Food Chemistry**, Washington, v. 54, p. 4773-4779, 2006.

BARBARICK, K. A.; LAI, T. M.; EBERL, D. D. Exchange fertilizer (Phosphate Rock plus Ammonium-Zeolite) effects on sorghum-sudangrass. **Soil Science Society of America Journal**, Fayetteville, v. 54, n. 3, p. 911-916, 1990.

BARBOSA, S. M. et al. Potencialidade de uso de zeólitas na atenuação do déficit hídrico em Latossolo do cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 2357-2368, 2014. Supl.

BARRER, R. M. **Hydrothermal chemistry of zeolites**. London: Academic, 1982. 360 p.

BECH, J. et al. Selenium and other trace elements in phosphate rock of Bayovar Sechura (Peru). **Journal of Geochemical Exploration**, Amsterdam, v. 107, p. 136-145, 2010.

BERNARDI, A. C. C. et al. Crescimento e nutrição mineral do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' cultivado em substrato com zeólita enriquecida com NPK. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 30, p. 794-800, 2008.

BERNARDI, A. C. C. et al. Disponibilidade de água e produção de arroz em função de doses de concentrado zeolítico. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 2, p.123-134, 2009.

BERNARDI, A. C. C. et al. Dry matter production and nutrient accumulation after successive crops of lettuce, tomato, rice, and andropogongrass in a substrate with zeolite. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 435-442, 2010.

BERNARDI, A. C. C. et al. Produção, aparência e teores de nitrogênio, fósforo e potássio em alface cultivada em substrato com zeólita. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, p. 920-924, 2005.

BOEIRA, R. C.; SOUZA, M. D. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio, pH e densidade de um Latossolo após três aplicações de lodos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 581-590, 2007.

BOHN, H. L.; MCNEAL, B. L.; O'CONNOR, G. A. **Soil chemistry**. 3rd ed. New York: J. Wiley, 2001. 320 p.

CARDOSO, A. M. **Síntese integrada em condições brandas de zeólitas 4A e NaPl, a partir de cinzas de carvão, para o uso em detergente e descontaminação ambiental**. 2012. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. cap. 9, p. 163-218.

CAVASIN JÚNIOR, C. P. **A cultura do girassol**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 69 p.

CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 41, p. 227-234, 1995.

CLARKE, C. Zeolites: take off for the tuff guys. **Industrial Minerals**, London, v. 149, p. 21-32, 1980.

CORRÊA, R. M. et al. Disponibilidade e níveis críticos de fósforo em milho e solos fertilizados com fontes fosfatadas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, p. 218-224, 2008.

CORREIA, T. A. et al. Caracterização de zeólitas do Município de Urupema, SC, e sua capacidade de remoção de Cu^{+2} de soluções aquosas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 9, n. 1, p. 29-38, 2010.

CRUZ, J. I. et al. Detecção de contaminação de solo por vinhaça através de análise de dados de eletrorresistividade. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 26, p. 481-492, 2008.

DONAGEMMA, G. K. et al. Fósforo remanescente em argila e silte retirados de Latossolos após pré-tratamentos na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1785-1791, 2008.

DUARTE, I. N.; PEREIRA, H. S.; KORNDORFER, G. H. Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, p. 195-200, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, 2009. 628 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.

ERNANI, P. R. et al. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 393-402, 2007.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 203 p.

FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA, 2001. 252 p.

GIACHINI, C. F.; FERRAZ, M. V. Benefícios da utilização de vinhaça em terras de plantio de cana-de-açúcar - revisão de literatura. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Luis Eduardo Magalhães, v. 3, p. 1-15, 2009.

GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. **Aplicação de vinhaça como fertilizante**. São Paulo: Coopersucar, 1983. 38 p.

GOEDERT, W. J.; REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G. **Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados não tradicionais**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1986. 21 p. (Documentos, 24).

GRANT, C. A. et al. **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta**. Piracicaba: ESALQ, 2001. (Informações Agronômicas, 95).

GREGORY, P. J. **Plant Roots: growth, activity and interactions with soil.** Oxford: Blackwell, 2006.

GRIEVE, C. M.; POSS, J. A. Response of ornamental sunflower cultivars 'Sunbeam' and 'Moonbright' to irrigation with saline wastewaters. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 33, p. 1579- 1592, 2010.

GÜL, A.; EROGUL, D.; ONGUN, A. R. Comparison of the use of zeolite and perlite as substrate for crisp-head lettuce. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 106, p. 464-471, 2005.

HARLAND, J.; LANE, S.; PRICE, D. Further experiences with recycled zeolite as a substrate for the sweet pepper crop. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 481, p. 187-194, 1999.

HAY, R. L.; SHEPPARD, R. A. Occurrence of zeolites in sedimentary rocks: an overview. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, Washington, v. 45, p. 217- 234, 2001.

HUE, N. V. Effects of organic acids/anions on phosphorus sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, Baltimore, v. 152, p. 463-471, 1991.

JOLY, A. B. **Botânica: introdução à taxonomia vegetal.** São Paulo: Nacional, 1993. 777 p.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo.** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 31 p. (Boletim Técnico, 3).

LAI, T. M.; EBERL, D. D. Controlled and renewable release of phosphorus in soils from mixtures of phosphate rock and NH₄-enchanged clinoptilolite. **Zeolites**, Guildford, v. 6, p. 129-132, 1986.

LENTZ, D. et al. Prehistoric sunflower (*Helianthus annuus* L.) domestication in Mexico. **Economic Botany**, Bronx, v. 55, n. 3, p. 370-376, 2001.

LEÓN, L. A.; FENSTER, W. E.; HAMMOND, L. L. Agronomic potential of eleven phosphate rocks from Brazil, Colombia, Perú and Venezuela. **Soil Science Society of America Journal**, Fayetteville, v. 50, p. 780-802, 1986.

LUNA, F. J.; SCHUCHARDT, U. Modificação de zeólitas para uso em catálise. **Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 6, p. 885-892, 2001.

LUZ, A. B. **Zeólitas**: propriedades e usos industriais. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1995. 35 p. (Série Tecnologia Mineral).

MADEJÓN, E. et al. Agricultural use of three (sugar-beet) vinasse composts: effect on crops and chemical properties of a Cambisol soil in the Guadalquivir river valley (SW Spain). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 84, n.1, p. 55-65, 2001.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MATIAZZO, M. E.; GLÓRIA, N. A. Fracionamento de formas de fósforo em solos incubados com vinhaça. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 95, p. 24-37, 1980.

MELAMED, R.; GASPAR, J. C.; MIEKELEY, N. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais. In: LAPIDO-LOUREIRO, E. V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes**: agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. p. 385-395.

MERTEN, G. H.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 15, p. 369-374, 1992.

MING, D. W.; DIXON, J. B. Quantitative determination of clinoptilolite in soils by a cation-exchange capacity method. **Clays and Clay Minerals**, New York, v. 35, n. 6, p. 463-468, 1987.

MING, D. W.; MUMPTON, F. A. Zeolites in soils. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Ed.) **Minerals in soil environments**. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 873-911.

MUMPTON, F. A. La roca magica: uses of natural previous zeolites in agriculture and industry. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 96, p. 3463-3470, 1999.

NEVES, M. B. **Desenvolvimento de plantas de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L.) em vasos em dois substratos, com solução nutritiva e em solo**. 2003. 63 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2003.

NEVES, M. B. et al. Desenvolvimento de plantas de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L.) em vasos, em dois substratos com solução nutritiva e em solo. **Científica**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 127-133, 2005.

NEVES, M. B. et al. Uso de daminozide na produção de girassol ornamental cultivados em vaso. **Revista Eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 16, n. 2, p. 31-37, 2009.

NEVES, M. B. **Zinco e retardante de crescimento no desenvolvimento de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L.) CV. Sumbrighth cultivado em solução nutritiva**. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, Botucatu, 2008.

NOTARIO-DEL-PINO, J. S. et al. Phosphorus and potassium release from phillipsite-based slow-release fertilizers. **Journal of Controlled Release**, Amsterdam, v. 34, p. 25-29, 1995.

NOTARIO-DEL-PINO, J. S. et al. Response of alfalfa to a phillipsite-based slow-release fertilizer. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, p. 2231-2245, 1994.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-537.

OLIVEIRA, L. B. et al. Formas de fósforo no solo sob pastagens naturais submetidas à adição de fosfatos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, p. 867-878, 2014.

OLIVEIRA, M. V. A. M.; VILLAS BOAS, R. L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, p. 95-103, 2008.

PARFITT, R. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 30, p. 1-50, 1978.

PELEGRINI, B. **Girassol: uma planta solar que das Américas conquistou o mundo**. São Paulo: Ícone, 1985. 117 p.

PICKERING, H. W.; MENZIES, N. W.; HUNTER, M. N. Zeolite/rock phosphate – a novel slow release phosphorus fertiliser for potted plant production. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 94, p. 333-343, 2002.

PINTO, C. P. **Tecnologia da digestão anaeróbia da vinhaça e desenvolvimento sustentável**. 1999. 138 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento em Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

RĂDULESCU, H. Soil treatment effects of zeolitic volcanic tuff on soil fertility. **Research Journal Agricultural Science**, Timisoara, v. 45, p. 238-244, 2013.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991.

RAIJ, B. van; ROSAND, P. C.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada no Brasil**. Planaltina: EMBRAPA, CPAC, 1992. 326 p. (Documentos, 21).

RAJAN, S. S. S.; CASANOVA, E.; TRUONG, B. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rocks, with a case-study analysis. In: ZAPATA, F.; ROY, R. N. (Ed.). **Use of phosphate rocks for sustainable agriculture**. Roma: FAO, 2004. p. 41-57.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, 2014.

RESENDE, A. V. et al. Resposta do milho a fontes e modos de aplicação de fósforo durante três cultivos sucessivos em solos da região do cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, p. 458-466, 2006.

RESENDE, N. G. A. M.; ANGÉLICA, R. S. Geologia das zeólitas sedimentares no Brasil. In: SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E. T.; COELHO, C. E. S. (Ed.). **Principais depósitos minerais do Brasil**. Brasília: DNPM/CPRM, 1997. v. 4, p. 193-212.

RESENDE, N. G. A. M. **A zona zeolítica da Formação Corda na Bacia do Parnaíba**. 2002. 141 p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

RESENDE, N. G. A. M.; MONTE, M. B. M.; PAIVA, P. R. P. **Zeólitas naturais**. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. cap. 39, p. 889-915.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RIBEIRO, B. T. et al. Cargas superficiais da fração argila de solos influenciadas pela vinhaça e fósforo. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 5-10, 2011.

ROSSETTO, A. J. Utilização agrônômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: PARANHOS, S. B. (Ed.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 2, p. 435-504.

ROSSI, R. **O Girassol**. Curitiba: Tecnoagro, 1998. 333 p.

SANTOS JÚNIOR, J. A. et al. Substratos e tempo de renovação da água residuária no crescimento do girassol ornamental em sistema semi-hidroponia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 8, p. 790-797, 2014.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 108–114, 2007.

SILVA, W. P. et al. Monitoramento da salinidade de águas subterrâneas em várzea cultivada com cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 4, p. 394–401, 2014.

SKINNER, B. J. **Recursos minerais da Terra**. São Paulo: E. Blucher, 1996. 139 p.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A.; LOBATO, E. Solubilidade e eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos avaliados com a cultura da soja em um Latossolo de Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2., 2008, Brasília. **Anais...** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008.

TIRLONI, C. et al. Disponibilidade de fósforo em função das adições de calagem e de um bioativador do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 977-984, 2009.

VALDÉS, M. G.; PEREZ-CORDOVES, A. I.; DIAZ-GARCIA, M. E. Zeolites and zeolite-based materials in analytical chemistry. **Trends in Analytical Chemistry**, Amsterdam, v. 25, p. 24-30, 2006.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist*, Cambridge, v. 157, p. 423-447, 2003.

VAUGHAN, D. Properties of natural zeolites. In: SAND, L.; MUMPTON, F. (Ed.). **Natural zeolites**: occurrence, properties, use. New York: Pergamon, 1978. p. 353-372.

VRÂNCEANU, A.V. **El girasol**. Madrid: Mundi-Prensa, 1977. 379 p.

WERLE, R.; GARCIA, A.R.; ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2297-2305, 2008.

WILLIAMS, K. A.; NELSON, P. V. Using precharged zeolite as a source of potassium and phosphate in a soilless container medium during potted chrysanthemum production. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 122, n. 5, p. 703-708, 1997.

WU, L. F. et al. efeito da adição de zeólita e vermiculita na lixiviação de potássio do solo. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 34, p. 57-67, 2013.

YUSUPOV, T. et al. Reactivity of mechanically activated apatite and its interaction with zeolites. **Journal of Mining Science**, New York, v. 42, p.189-194, 2006.

ZOBIOLE, L. H. S. et al. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 425-433, 2010.